

# PTB

Fachorgan für Wirtschaft und Wissenschaft

# Mitteilungen

4.2009

## Themenschwerpunkt Europäische Metrologie

EURAMET

European Association of National Metrology Institutes



Fachorgan für Wirtschaft und Wissenschaft  
Amts- und Mitteilungsblatt der  
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin

119. Jahrgang, Heft 4, Dezember 2009

## Inhalt

---

Themenschwerpunkt	Europäische Metrologie	
	• <i>Ernst O. Göbel</i> : Europäische Metrologie – Einführung	305
	• <i>Michael Kühne und Wolfgang Schmid</i> : EURAMET – „European Association of National Metrology Institutes“	307
	• <i>Jörn Stenger</i> : Das europäische Metrologieforschungsprogramm EMRP	313
	• <i>Uwe Siegner</i> : Das Targetprogramm „Elektrizität und Magnetismus“ in iMERA-plus	322
	• <i>Harald Bosse</i> : iMERA-plus und das Targetprogramm „Dimensionelle Metrologie“	325
	• <i>Hans Koch</i> : Das Targetprogramm „Metrologie für die Gesundheit“ in iMERA-plus	328
	• <i>Wolfgang Buck</i> : Das Targetprogramm „SI und Naturkonstanten“ im iMERA-plus-Rahmen	331
	• <i>Arnold Leitner, Wolfgang Schmid und Leslie Pendrill</i> : Weiterentwicklung der nationalen und regionalen metrologischen Infrastruktur in Europa	335
Recht und Technik	• Einsatz MID-konformer Temperaturfühler für Wärmezähler in Bestandstauhhülsen	343
Amtliche Bekanntmachungen	(eigenes Inhaltsverzeichnis)	349

---

### Zum Titelbild:

Die europäischen Metrologieinstitute, zusammengeschlossen im Verein EURAMET e. V., befassen sich mit Forschung, Dienstleistung und Beratung zu allen Aspekten der Metrologie, von drän-

genden aktuellen Fragen wie der Energieversorgung (oben) über die Bedürfnisse der Industrie nach präzisen Messungen (Mitte) bis hin zur Grundlagenforschung (unten).

Bilder (von oben):  
mauritus images/imagebroker/Thomas Kroeger  
– David Parker/Seagate  
Microelectronics Ltd/  
Science Photo Library  
– original-okerland

## Impressum

Die **PTB-Mitteilungen** sind metrologisches Fachjournal und amtliches Mitteilungsblatt der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. Als Fachjournal veröffentlichen die PTB-Mitteilungen wissenschaftliche Fachaufsätze zu metrologischen Themen aus den Arbeitsgebieten der PTB. Als amtliches Mitteilungsblatt steht die Zeitschrift in einer langen Tradition, die bis zu den Anfängen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (gegründet 1887) zurückreicht. Die PTB-Mitteilungen veröffentlichen in ihrer Rubrik „Amtliche Bekanntmachungen“ unter anderem die aktuellen Geräte-Prüfungen und -Zulassungen aus den Gebieten des Eich-, Prüfstellen- und Gesundheitswesens, des Strahlenschutzes und der Sicherheitstechnik.

### Verlag

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Bürgermeister-Smidt-Str. 74–76,  
27568 Bremerhaven  
Postfach 10 11 10, 27511 Bremerhaven  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)  
E-Mail: [info@nw-verlag.de](mailto:info@nw-verlag.de)

### Herausgeber

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB),  
Braunschweig und Berlin  
Postanschrift:  
Postfach 33 45, 38023 Braunschweig  
Lieferanschrift:  
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

### Redaktion/Layout

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, PTB  
Dr. Dr. Jens Simon (verantwortlich)  
Gisela Link  
Telefon: (05 31) 592-82 02  
Telefax: (05 31) 592-30 08  
E-Mail: [gisela.link@ptb.de](mailto:gisela.link@ptb.de)

### Leser- und Abonnement-Service

Marina Kornahrens  
Telefon: (04 71) 9 45 44-61  
Telefax: (04 71) 9 45 44-88  
E-Mail: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)

### Anzeigenservice

Karin Drewes  
Telefon: (04 71) 9 45 44-21  
Telefax: (04 71) 9 45 44-77  
E-Mail: [info@nw-verlag.de](mailto:info@nw-verlag.de)

### Erscheinungsweise und Bezugspreise

Die PTB-Mitteilungen erscheinen viermal jährlich. Das Jahresabonnement kostet 55 Euro, das Einzelheft 16 Euro, jeweils zzgl. Versandkosten. Bezug über den Buchhandel oder den Verlag. Abbestellungen müssen spätestens drei Monate vor Ende eines Kalenderjahres schriftlich beim Verlag erfolgen.

© Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 2009

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf CD-ROM und in allen anderen elektronischen Datenträgern.

## Europäische Metrologie – Einführung

Ernst O. Göbel<sup>1</sup>

Die Metrologie – die wissenschaftliche und technologische Grundlage des Messwesens – befindet sich derzeit weltweit in einer sehr dynamischen Phase mit stetig steigenden Anforderungen. In der „klassischen“ (physikalisch dominierten) Metrologie sind die Erweiterung der Messbereiche und die Verringerung der Messunsicherheit stetige Forderungen. Beispielhaft sei hier die Nanometrologie genannt, die nicht nur höchste Anforderungen an die dimensionelle und topographische Messtechnik stellt, sondern gerade im Hinblick auf die funktionalen Eigenschaften auch neue interdisziplinäre Ansätze erfordert.

Des Weiteren finden metrologische Konzepte (Rückführbarkeit, Unsicherheitsbetrachtungen etc.) zunehmend Eingang in Gebiete, die der Metrologie bisher eher fremd waren, wie etwa die anorganische und organische Chemie, die Biotechnologie und Bereiche der sogenannten Lebenswissenschaften einschließlich der Medizin.

Und schließlich steht die Metrologie auch in der Pflicht, zur Lösung der großen Herausforderungen unserer Zeit (Gesundheit, Energie, Umwelt, Sicherheit und Mobilität) einen expliziten Beitrag zu leisten.

Während in einigen Ländern außerhalb Europas (z. B. USA, China, Korea) dies z. T. zu deutlichen Zuwächsen des Budgets der nationalen Metrologieinstitute (NMI) geführt hat bzw. führen wird, stagnieren die Budgets der europäischen NMIs im Wesentlichen. Eine Analyse der derzeitigen und mittelfristig absehbaren Situation hat unter den europäischen NMIs zu der Einsicht geführt, dass man nur in einer europaweit koordinierten und konzentrierten Anstrengung im Bereich der Metrologieforschung den zukünftigen An- und Herausforderungen wird begegnen können und somit einen nachhaltigen Beitrag zur Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit Europas im globalen Wettbewerb leisten können.

Mit finanzieller Förderung durch die Europäische Kommission (EC) im Rahmen des IMERA-Projekts wurde daraufhin von der regionalen europäischen Metrologieorganisation EUROMET ein Vorschlag für ein koordiniertes europäisches Metrologie-Forschungsprogramm (EMRP) mit dem Ziel erstellt, dieses mit Unterstützung der Europäischen Kommission im Rahmen einer Förderung nach Artikel 169 des EG-Vertrages gemeinsam zu finanzieren. Während das EMRP nach Art. 169 gerade startet, befindet sich ein Teil des EMRP im Rahmen einer Vorabmaßnahme mit ERAnet-plus-Förderung mitten in der Projektphase. Hierzu geben die Kurzdarstellungen von U. Siegner, H. Bosse, H. Koch und W. Buck einen Einblick.

Über das EMRP insgesamt und dessen Durchführung wird in dem Beitrag von J. Stenger ausführlich berichtet. Bezüglich der zur Durchführung des EMRP notwendigen Strukturen ist an erster Stelle die Umwandlung von EUROMET, des losen Zusammenschlusses der europäischen NMIs, in eine rechtlich verbindliche Organisation, die von der Europäischen Kommission mit der eigenverantwortlichen Durchführung des EMRP-Programms beauftragt werden kann, zu nennen. Zu diesem Zweck wurde 2007 EURAMET e. V. mit Sitz in Braunschweig gegründet und eingetragen.

EURAMET ist somit der Nachfolger von EUROMET als regionale Metrologieorganisation (RMO) in Europa – ursprünglich vorwiegend Westeuropa. EURAMET nimmt damit zusammen mit den anderen RMOs

- SIM (Inter-American Metrology System) für Nord-, Mittel- und Südamerika
- APMP (Asia-Pacific Metrology Programme) für weite Teile Asiens und die pazifischen Inselstaaten
- COOMET (Euro-Asian Cooperation of National Metrological Institutes) für Osteuropa und das westliche Asien

---

<sup>1</sup> Prof. Dr. Ernst Otto Göbel,  
Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt  
E-Mail:  
ernst.o.gobel@ptb.de

- AFRIMETS (Inter-Africa System for Metrology) für den afrikanischen Kontinent eine tragende Rolle bei der Ausgestaltung der globalen Metrologie wahr.

Auf regionaler Ebene soll EURAMET die metrologische Arbeit der nationalen Metrologieinstitute koordinieren. Im Bereich der Forschung und Entwicklung wird mit dem EMRP bereits ein sehr viel versprechender Ansatz verfolgt. Aber auch für die metrologischen Dienstleistungen (Kalibrierungen, Prüfungen, Bauartzulassungen bzw. Konformitätsbewertungen) wird in Europa mittelfristig eine stärkere Koordinierung erfolgen müssen, wie es für die deutschsprachigen D-A-CH-Länder (Deutschland, Österreich, Schweiz) derzeit erarbeitet wird.

Schließlich soll EURAMET der europäischen Kommission in allen die Metrologie betreffenden Angelegenheiten als kompetenter Ratgeber und Partner zur Verfügung stehen.

Ausführlich wird über EURAMET in dem Beitrag von M. Kühne und W. Schmid berichtet.

Wie schon erwähnt, kommt dem EMRP für die Weiterentwicklung der metrologischen Infrastruktur in Europa eine entscheidende Bedeutung zu. Darüber und über weitere Aspekte der zukünftigen europäischen metrologischen Infrastruktur berichtet der Beitrag von A. Leitner, W. Schmid und L. Pendrill.

Ein vorrangiges Ziel von EURAMET wird es sein, im Rahmen des EMRP kooperativ exzellente Forschungsprojekte durchzuführen, die die Metrologie in Europa nachhaltig verbessern und erweitern und damit die Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit Europas stärken und die Lebensqualität sicherstellen. EURAMET muss dafür Sorge tragen, dass Doppelungen von F&E-Arbeiten vermieden und Synergien genutzt werden. Für die PTB bietet das EMRP die einmalige Chance, mit zusätzlichem (befristeten) Personal neue, aus nationaler und europäischer Sicht dringliche Themen aufzugreifen und Kompetenz aus- bzw. aufzubauen.

Ich gehe davon aus, dass das EMRP die europäische Metrologie-Infrastruktur maßgeblich beeinflussen und formen wird. Wir werden dazu kommen und es akzeptieren müssen, dass die metrologische Kompetenz in verschiedenen Instituten in Europa verteilt, aber dennoch für alle NMIs zugänglich sein wird und nicht mehr jedes nationale NMI glaubt, die gesamte Bandbreite der Metrologie abdecken zu müssen – was ohnedies heutzutage nicht mehr möglich ist. Die PTB ist für diesen „Evolutionsprozess“ bestens gerüstet und sieht ihn als große Chance, sich für die Zukunft zu positionieren. So sind wir überzeugt, auch weiterhin unseren Beitrag zur nationalen und europäischen metrologischen Infrastruktur leisten zu können.

# EURAMET – „European Association of National Metrology Institutes“

Michael Kühne<sup>1</sup> und Wolfgang Schmid<sup>2</sup>

## Einleitung

Mit dem Ziel, Foren für eine Koordinierung der Arbeiten der nationalen Metrologieinstitute (NMI) zu schaffen, begann vor etwa zwei bis drei Jahrzehnten die Gründung von regionalen Metrologie-Organisationen (RMO). Auch wenn die Zusammenarbeit innerhalb dieser RMOs keine rechtlich verbindlichen Verpflichtungen an die Mitglieder stellte, erwies sie sich doch als ausgesprochen erfolgreich: Die Fachkollegen aus verschiedenen NMIs der Region wurden zusammengebracht, um sich wissenschaftlich auszutauschen, um sich bei der Rückführung ihrer nationalen Normale auf das SI gegenseitig zu unterstützen, um Vergleichsmessungen durchzuführen und um in Forschungsprojekten zusammenzuarbeiten.

In Europa wurde diese Zusammenarbeit fast zwanzig Jahre lang sehr erfolgreich durch EUROMET, die „European Collaboration in Measurement Standards“, koordiniert. Motiviert durch das Ziel, ein europäisches Forschungsprogramm für Metrologie mit finanzieller Unterstützung durch die Europäische Union zu entwickeln und durchzuführen, beschlossen die NMIs, ihre Zusammenarbeit auf eine rechtlich solidere Grundlage zu stellen, und gründeten 2007 EURAMET („European Association of National Metrology Institutes“), welcher EUROMET ablöste. Als eingetragener Verein besitzt EURAMET e. V. eigene Rechtsfähigkeit und kann damit als Vertragspartner der Europäischen Kommission bei der Durchführung eines europäischen Forschungsprogramms auftreten.

Der Artikel beschreibt die Gründung von EUROMET und den Übergang zu EURAMET e. V., schildert die Entwicklung des Europäischen Metrologie-Forschungsprogramms (EMRP) und schließt mit einem allgemeinen Ausblick auf die zukünftigen Herausforderungen von EURAMET ab.

## Die Gründung von EUROMET und die Entwicklung in den Neunzigerjahren

Als erster Vorläufer der heutigen europäischen Vereinigung der nationalen Metrologieinstitute EURAMET darf der in den 70er-Jahren entstandene Western European Metrology Club (WEMC) angesehen werden. Dem WEMC folgte 1987 EUROMET mit der Unterzeichnung des Memorandum of Understanding (MoU) im September 1987. Die Mitgliedschaft bei EUROMET war offen für alle nationalen Metrologieinstitute der Europäischen Gemeinschaft, der EFTA und außerdem für die entsprechende Einrichtung der Kommission der Europäischen Gemeinschaft.

Wegen der unterschiedlichen nationalen Strukturen unterschied EUROMET zwischen:

- Signatory: das Institut, das das MoU unterschrieben hat,
- Mitglied: ein Institut, das nationale Normale besitzt,
- Delegate: der vom Signatory benannte stimmberechtigte Vertreter für die General Assembly (GA), der beschlussfassenden Versammlung von EUROMET.

Mit dieser Konstruktion war es möglich, dass mehrere Institute eines Staates Mitglieder bei EUROMET waren, andererseits gab es pro Staat nur einen stimmberechtigten Vertreter.

Am 1. Januar 1988 begann das offizielle Leben von EUROMET. Die erste General Assembly fand im Januar 1988 in Braunschweig statt. Zum ersten Vorsitzenden von EUROMET wurde P. Dean (NPL) gewählt. Die Reihe der EUROMET-Vorsitzenden endete am 30. Juni 2007 mit Michael Kühne (PTB), da zu diesem Zeitpunkt die Selbstaflösung von EUROMET wirksam wurde. Am 1. Juli 2007 übernahm dann EURAMET die Vertretung der Interessen der europäischen Metrologie.

Zur Koordinierung der wissenschaftlichen und technischen Zusammenarbeit waren im EUROMET zehn Technische Komitees (TC) gebildet worden. Die Thematik dieser TCs war an die Thematik der Konsultativkomitees (CC) der Meterkonvention angelehnt. Zusätzlich zu diesen „vertikalen“ TCs wie TC-Mass, TC-Length,

<sup>1</sup> Prof. Dr. Michael Kühne, Deputy Director and Director Designate, BIPM  
E-Mail: mkuehne@bipm.org

<sup>2</sup> Dr. Wolfgang Schmid, EURAMET Secretary  
E-Mail: wolfgang.schmid@euramet.org

etc. entstanden in den späteren Jahren die beiden „horizontalen“ TC-IM für „Interdisziplinäre Metrologie“ und TC-Q für „Qualitätsmanagementsysteme“. Die vertikalen TCs dienten hauptsächlich der Vorbereitung von gemeinsamen wissenschaftlich-technischen Projekten, welche vier Projektklassen zugeordnet wurden:

- 1) Messtechnische Rückführung („traceability“)
- 2) Messtechnische Vergleiche
- 3) Beratung bei der Aufnahme neuer Arbeitsgebiete
- 4) Forschungszusammenarbeit.

Im TC-IM wurde vorwiegend die Zusammenarbeit mit dem BIPM und den anderen regionalen Metrologieorganisationen im Rahmen des Mutual Recognition Arrangement des CIPM (CIPM MRA) [1] besprochen. Das TC-Q beschäftigte sich mit der Anerkennung der Qualitätsmanagementsysteme der Mitglieder für das CIPM MRA.

Nach Ende der Spaltung Europas traten auch die zentral- und osteuropäischen Metrologieinstitute EUROMET bei. Nach dem Zerfall Jugoslawiens kam es zum Beitritt einer Reihe von NMIs der Nachfolgestaaten. Zum Zeitpunkt der Selbstauflösung von EUROMET im Juni 2007 waren die NMIs von 33 europäischen Ländern sowie das Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM) der EU Mitglied bei EUROMET.

Da die Arbeitbelastung des auf zwei Jahre gewählten Vorsitzenden im Laufe der Jahre immer mehr zunahm, wurde 1995 ein Consultative Committee (CC) gegründet (ab 2001 Executive Committee, EC), das den Vorsitzenden zwischen den Jahresversammlungen beraten und unterstützen konnte. Insbesondere war das EC an der Entwicklung der EUROMET-Strategie beteiligt.

### Von EUROMET zu EURAMET e. V.

Ab Ende der Neunzigerjahre waren es zwei Themenkomplexe, die die Arbeit von EUROMET wesentlich beeinflussten:

- der Abschluss des Mutual Recognition Arrangement des CIPM und die daraus sich ergebenden Aufgabenstellungen für EUROMET als europäischer RMO im Sinne des MRA
- die Planung einer verstärkten europäischen Zusammenarbeit insbesondere unter den zu erwartenden steigenden metrologischen Anforderungen einerseits und der Begrenztheit der finanziellen nationalen Ressourcen andererseits.

Die Unterzeichnung des CIPM MRA [1] im Jahre 1999 zur gegenseitigen Anerkennung des Grades der Äquivalenz der nationalen Normale und der damit verbundenen Mess- und Kalibriermöglichkeiten (CMC) war ein wichtiger Meilenstein

der internationalen Metrologie. Es sicherte die internationale Anerkennung der Kalibrierscheine der NMIs, indem es ein detailliertes Kompetenzüberprüfungsverfahren einführte; die RMOs hatten darin eine zentrale Funktion. EUROMET hat bei der Zusammenarbeit mit dem BIPM und den anderen RMOs im Joint Committee of the Regional Metrological Organisations and the BIPM (JCRB) stets eine aktive Rolle gespielt und hat viele der Kerndokumente wesentlich mitgestaltet. Dadurch ist es gelungen, einen Großteil der strategischen Vorstellungen von EUROMET in das internationale Anerkennungsnetzwerk des CIPM MRA einzubringen.

Die Frage, wie sich die metrologische Landschaft in Europa und insbesondere in der europäischen Union in den ersten beiden Jahrzehnten des neuen Jahrhunderts entwickeln müsste, um den Anforderungen von Gesellschaft, Staat und Wirtschaft im einundzwanzigsten Jahrhundert zu genügen, war der Auslöser zur EUROMET-Studie MERA [2] („Planning the European Research Area in Metrology“). Diese Studie, durchgeführt von neun europäischen NMIs im Zeitraum von September 2002 bis November 2003, wurde im Rahmen des Programmes „Competitive and Sustainable Growth“ von der EU unterstützt. Die Ergebnisse der Studie sind auf der Internetseite von EURAMET zu finden. Die Kernthese der Studie lässt sich in etwa wie folgt zusammenfassen.

Die Durchführung gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungsprojekte muss zur Kernaufgabe von EUROMET werden. Das beinhaltet metrologische Forschung und Entwicklung zur Erhaltung und Förderung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie und zur Bewahrung und Verbesserung der Lebensqualität in Europa.

Der MERA-Studie folgte das iMERA-Projekt [3] („implementing the Metrology European Research Area“), ein ERA-Net-Projekt kofinanziert durch die EU im Rahmen des FP-6. Waren bei MERA bereits neun Partner eingebunden, so stieg bei iMERA die Zahl auf zwanzig, darunter vier Ministerien, die in ihren Staaten die Verantwortung für die nationalen Metrologieinstitute tragen. Kernziel von iMERA war die Schaffung der Rahmenbedingungen für die Durchführung eines Metrologieforschungsprogrammes (EMRP = „European Metrology Research Programme“) durch die NMIs auf der Basis des Artikels 169 des EG-Vertrages. Dieser Artikel besagt, dass sich die EU finanziell an der Durchführung eines Forschungsprogrammes beteiligen kann, das von mehreren Mitgliedsstaaten durchgeführt wird, wenn das Europäische Parlament und der Ministerrat der EU zustimmen. Die erste Hürde auf dem Weg zum EMRP

war dabei, die europäische Kommission davon zu überzeugen, dass erstens ein solches Programm erforderlich ist, welches zweitens von EUROMET aufgestellt werden und drittens von EUROMET verantwortlich durchgeführt werden soll. Die Erreichung dieses Ziels erforderte eine intensive Zusammenarbeit der NMIs mit ihren nationalen Ministerien, um deren Unterstützung für ein solches Vorgehen zu gewinnen. Eine wichtige Hilfe war dabei, dass die vier beteiligten Ministerien, darunter die der beiden Staaten mit den größten europäischen metrologischen Forschungsaktivitäten (D, UK), als Partner im iMERA-Projekt mitarbeiteten. Für die Projektpartner bestand die Hauptaufgabe im iMERA-Projekt in:

- dem Aufbau einer Organisation mit der Fähigkeit, ein europäisches Metrologieforschungsprogramm mit einem Finanzvolumen von ca. 500 Mio. € durchzuführen, sowie in
- der Entwicklung eines europäischen Metrologieforschungsprogrammes EMRP für einen Zeitrahmen von sieben Jahren.

Dabei gingen die Projektpartner von einem nach Artikel 169 geförderten EMRP aus, das im Verhältnis 50:50 von den teilnehmenden Mitgliedsstaaten und der EU finanziert würde. Das Finanzvolumen über sieben Jahre wurde zu 500 Mio. € angenommen.

Bezüglich des Aufbaus der Organisation zur Durchführung des EMRP wurden zwei Möglichkeiten untersucht: Der Aufbau einer von EUROMET unabhängigen Organisation oder die Weiterentwicklung von EUROMET zu einer solchen Organisation. Schnell wurde klar, dass nur die zweite Möglichkeit politisch tragfähig war, da es andernfalls zu einer Polarisierung zwischen den europäischen Metrologieinstituten hätte kommen können. Diese Auffassung wurde auch von der Europäischen Kommission geteilt. In seiner bestehenden Form wäre EUROMET allerdings nicht in der Lage gewesen, Zuwendungsempfänger für ein EMRP zu werden, da EUROMET keine juristische Person war. Für EUROMET musste daher eine geeignete Rechtsform gefunden werden. Eine Analyse der verschiedenen Möglichkeiten in Europa ergab, dass ein eingetragener Verein nach deutschem Recht den Anforderungen am besten entsprechen würde. Die EUROMET-Mitglieder beschlossen daher, eine neue Organisation EURAMET zu gründen, die Aktivitäten von EUROMET auf diese neue Organisation zu übertragen und EUROMET anschließend aufzulösen. Am 11. Januar 2007 war es so weit, in Berlin wurde EURAMET als eingetragener Verein mit Sitz in Braunschweig gegründet. Das Gros der EUROMET-Mitglieder war unmittelbar in der

Lage, EURAMET e. V. beizutreten. Am Ende des Jahres 2008 waren schließlich alle 33 NMI, die vorher EUROMET-Mitglieder waren, auch EURAMET beigetreten. Das Institut der Europäischen Kommission, IRMM, hat einen speziellen Status als assoziiertes Mitglied erhalten, da es aus rechtlichen Gründen kein Mitglied einer juristischen Person werden kann.

Zum 1. Juli 2007 nahm EURAMET die Arbeit als regionale Metrologieorganisation auf und wurde vom JCRB als Nachfolgeorganisation von EUROMET im CIPM MRA anerkannt.

### Die Organisation von EURAMET

Im EURAMET gibt es drei Kategorien von Mitglieds- und Partnerorganisationen:

- 1) Mitglieder sind die NMIs europäischer Länder; nur ein Mitglied pro Land ist möglich.
- 2) Assoziierte Mitglieder sind NMIs im Beitrittsverfahren und Beauftragte Institute („designated institutes“ im Sinne des CIPM-MRA) eines Landes mit einem Mitglieds-NMI. Auch ehemalige EUROMET-Mitglieder, denen aus rechtlichen Gründen eine Vollmitgliedschaft verwehrt ist, können diesen Status erhalten.
- 3) Darüber hinaus unterhält EURAMET offizielle Beziehungen zu sogenannten Liaison Organisations: nationale, regionale oder internationale Organisationen mit Bezug zur Metrologie.

Die vollständige und aktuelle Liste der Mitglieder, assoziierten Mitglieder und Liaison Organisations findet man auf der EURAMET-Internetseite.

Die Organisation von EURAMET ist in Bild 1 gezeigt. Das zentrale Entscheidungsgremium ist die Generalversammlung, in der jedes Mitglied durch einen Delegierten vertreten ist. Die Generalversammlung entscheidet über die Politik und Strategie von EURAMET, beschließt das grundlegende Regelwerk und Dokumente und wählt die Funktionsträger.

Der oder die Vorsitzende ist der rechtliche Vertreter von EURAMET und hat eine zentrale Verantwortung für alle Amtsgeschäfte. Er wird auf drei Jahre gewählt. In seiner Arbeit stehen ihm zwei Stellvertreter zur Seite, von denen einer für allgemeine EURAMET-Belange zuständig ist und der andere speziell für EMRP-Angelegenheiten. Unterstützt werden die Vorsitzenden durch ein Direktorium, dessen gewählte Mitglieder die verschiedenen Regionen von EURAMET sowie das Spektrum der NMIs hinsichtlich Größe, Entwicklungsstand und anderer Besonderheiten widerspiegeln sollen.

Die technisch-wissenschaftliche Zusammenarbeit wird, wie auch schon im EUROMET, in 12 Technischen Komitees organisiert.



## Organigramm EURAMET e. V.

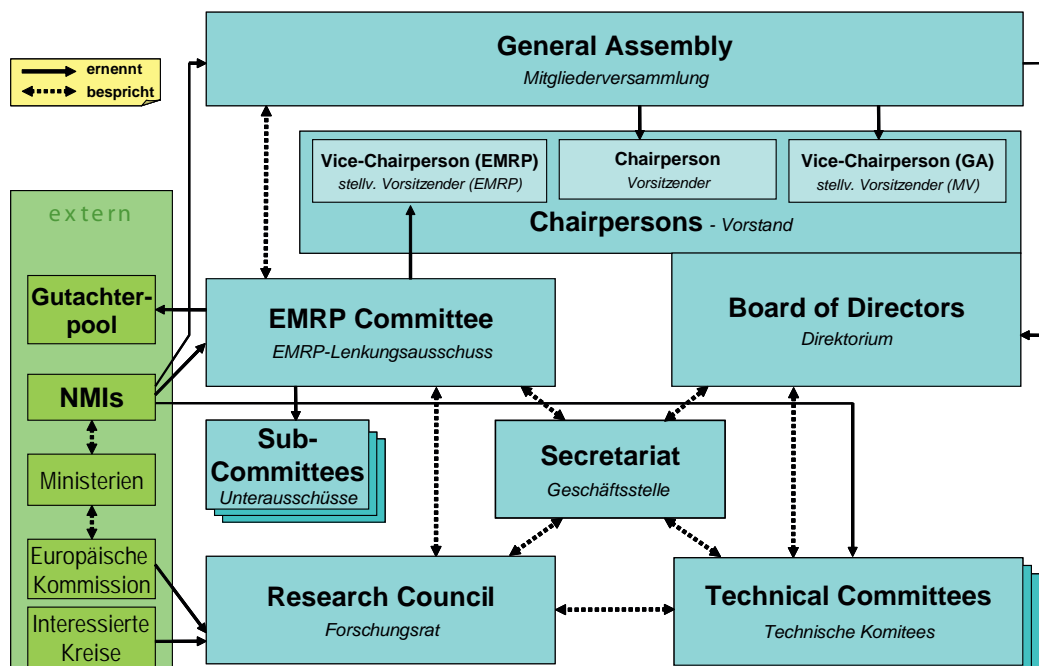


Bild 1:  
Organigramm von  
EURAMET

Alle Entscheidungen, welche die Vorbereitung und Durchführung des EMRP betreffen, werden im EMRP-Komitee getroffen. Nur Mitglieder, welche ihre Teilnahme am EMRP offiziell erklärt und sich zum Einbringen eigener Ressourcen verpflichtet haben, sind im EMRP-Komitee vertreten. Im Gegensatz zur Generalversammlung, wo jedes Mitglied eine Stimme hat, werden Entscheidungen im EMRP-Komitee nach einem gewichteten Abstimmungsverfahren getroffen, welches den Umfang der Beteiligung des NMIs am EMRP und die eingebrachten Ressourcen berücksichtigt. Der Forschungsrat ist ein Beratungsgremium, in dem Interessenvertreter aus Industrie, Forschung und Politik vertreten sind.

EURAMET unterhält eine permanente Geschäftsstelle mit Sitz in Braunschweig auf dem Gelände der PTB, welche für die Mitgliederkontakte zuständig ist, die Arbeit der Vorsitzenden und der verschiedenen Gremien unterstützt, die Kommunikation zwischen den Mitgliedern und den Gremien sicherstellt und Öffentlichkeitsarbeit betreibt. Speziell für die Management-Unterstützung und Verwaltung des EMRP ist eine Außenstelle mit Sitz in Teddington zuständig, welche vom NPL im Unterauftrag betrieben wird.

### Die Vorbereitung eines europäischen Metrologie-Forschungsprogrammes (EMRP)

Parallel zu den iMERA-Aktivitäten zur Schaffung der Strukturen für ein EMRP begannen die Arbeiten zur Erstellung der Inhalte für das EMRP. Dazu wurden von den EURAMET TCs insgesamt 43 Roadmaps für die wesentlichen Metrologieforschungsbereiche erstellt. Auf der Basis dieser Roadmaps wurde dann von einem Expertenteam das eigentliche EMRP erstellt (das Dokument befindet sich auf der EURAMET-Internetseite [4]). Schwerpunkt in diesem Programm wird die Bearbeitung von vier wichtigen „horizontalen“ Themen sein: Gesundheit, Energie, Umwelt und Neue Technologien.

Während die Arbeiten zum Aufbau der Strukturen für das EMRP und die Definition der Forschungsinhalte zügig vorangingen, wurde in den Gesprächen mit der Kommission klar, dass eine Entscheidung für ein EMRP auf der Basis des Artikels 169 nicht vor 2009 zu erwarten war. Um aber bereits früher zumindest mit einem Teilprogramm des EMRP beginnen zu können, schlug die Kommission vor, dass EURAMET einen Antrag auf eine ERANet-Plus-Maßnahme stellen sollte. Im Rahmen dieses Verfahrens konnte EURAMET 2007 seine neu geschaffenen Strukturen testen und bereits mit der Realisierung eines Teiles des EMRP beginnen. Die Auswahl der Projektvorschläge wurde bis Ende 2007 abgeschlossen. Im „iMERA-Plus“-Programm werden 21 Forschungsprojekte [5]



Bild 2:  
Landkarte Europas  
mit den Staaten der  
EURAMET-Mitglieder

von je drei Jahren Laufzeit mit einem Gesamtvolumen von 64,6 Mio. € (davon 21 Mio. € der EU) gefördert. Beteiligt sind die Metrologieinstitute von 20 europäischen Staaten und das IRMM. Die Forschungsaktivitäten erstrecken sich auf die Bereiche „Elektrische und magnetische Messtechnik“, „Dimensionelle Messtechnik“, „Gesundheit“ und „Grundlagen des SI“. Dabei haben sich die von EURAMET eingesetzten Verfahren zur Projektbewertung voll bewährt. Insbesondere das zentrale Auswahlverfahren auf der Basis einer Beurteilungskonferenz hat gezeigt, dass es ein ausgezeichnetes Mittel zur kompetenten und ausgewogenen Projektbewertung darstellt.

Zur Entscheidung bezüglich der Stellung eines Antrages für das EMRP an das Europaparlament und den Ministerrat führte die Kommission ein Verfahren zur Bewertung der Auswirkungen des EMRP („impact assessment“) durch, das im Herbst 2008 positiv abgeschlossen wurde. Daraufhin stellte die Kommission im Dezember 2008 den Antrag auf ein EMRP im Finanzvolumen von 400 Mio. € an das Europaparlament und den Ministerrat. Die Zustimmung des Parlamentes erfolgte am 22. April 2009, die des Ministerrates am 27. Juli 2009. Damit hat das EMRP alle Hürden des Bewilligungsverfahrens genommen.

Mit der Schaffung von EURAMET und dem erfolgreichen Antrag für ein europäisches Metrologie-Forschungsprogramm durch EURAMET hat die europäische Metrologie einen großen Entwicklungsschritt getan. Jetzt bedarf es intensiver Anstrengungen der europäischen NMI,

um mit den anvertrauten 400 Mio. € Forschungsziele zu realisieren, die eine entsprechende positive Auswirkung für die europäischen Bürger haben werden.

### Ausblick auf künftige Entwicklungen

Auch wenn die Durchführung eines europäischen Metrologie-Forschungsprogramms die Motivation für die Weiterentwicklung der europäischen Metrologiestruktur und die Gründung von EURAMET war und eindeutig eine Schwerpunktaktivität darstellt, so ist dies doch bei weitem nicht die einzige Herausforderung, der sich EURAMET in Zukunft stellen muss. Ziel ist es, ein ausgewogenes Programm in den vier Handlungsfeldern der Zusammenarbeit zu entwickeln:

- 1) Rückführung der Messungen auf das SI
- 2) internationale Anerkennung der nationalen Normale und Calibration & Measurement Capabilities (CMCs) der Mitglieder
- 3) gegenseitiger Erfahrungsaustausch und Unterstützung beim Aufbau von nationaler Metrologie-Infrastruktur
- 4) Forschung in der Metrologie.

Die Zusammenarbeit zwischen den NMIs ist in allen ihren Tätigkeitsbereichen erforderlich, von der Forschung bis zur Bereitstellung von Kalibrier- und Beratungs-Dienstleistungen, als Antwort auf die steigende Nachfrage der Gesellschaft nach rückführbaren Messungen. Dieser Bedarf besteht nicht nur in traditionellen Bereichen (Handel, Produktion etc.), sondern auch die großen Herausforderungen der modernen Gesellschaft erfordern eine zuverlässige

Metrologie, wie z. B. Energie und Umwelt, Gesundheit, Sicherheit, Basistechnologien (wie Nanotechnologie und Biotechnologie).

Um diese neuen Herausforderungen anzugehen, ist EURAMET mit seinen Strukturen gut vorbereitet. Als Verein mit eigener Rechtsfähigkeit kann EURAMET Verträge mit anderen Organisationen und Institutionen, insbesondere der Europäischen Kommission, schließen, um Finanzierung und Nachhaltigkeit seiner Aktivitäten sicherzustellen. Die permanente Geschäftsstelle kann die Kontinuität der Arbeiten gewährleisten, auch bei Wechsel der Vorsitzenden, und die Arbeit der verschiedenen Komitees von EURAMET wirkungsvoll unterstützen, eine kontinuierliche Anpassung an die steigenden Anforderungen vorausgesetzt. Die Strukturen für eine koordinierte europäische Metrologie-Forschung sind eingerichtet und haben ihre Funktionsfähigkeit bereits unter Beweis gestellt, wie in den folgenden Beiträgen dieses Heftes dargestellt wird.

#### Referenzen:

- [1] CIPM Mutual Recognition Arrangement, <http://www.bipm.org/en/cipm-mra/>
- [2] MERA – Planning the European Research Area in Metrology, Final report (2004) <http://www.euramet.org/index.php?id=documents>
- [3] iMERA – Implementing the Metrology European Research Area, Final Activity Report (2009) <http://www.euramet.org/index.php?id=documents>
- [4] EMRP outline (2008), <http://www.euramet.org/index.php?id=documents>
- [5] EMRP – Joint Research Projects <http://www.euramet.org/index.php?id=jrps>

# Das europäische Metroloieforschungsprogramm EMRP

Jörn Stenger<sup>1</sup>

## 1 Einführung

Das Europäische Metroloieforschungsprogramm EMRP ist die bisher größte und aufwendigste gemeinsame Maßnahme der europäischen nationalen Metrologieinstitute (NMI). Sie besteht aus dem:

- EMRP nach iMERA-plus; einem dreijährig angelegten, zu einem Drittel von der EU kofinanzierten Programm mit Projektstart 2008 und einem Gesamtbudget von 63 Mio. €, und dem
- EMRP nach Artikel 169 des EG-Vertrages; einem siebenjährig angelegten, zur Hälfte von der EU kofinanzierten Programm mit Projektstart 2010 und einem Gesamtbudget von 400 Mio. €.

Das Programm schließt ca. 25 % der Metroloieforschung der europäischen NMIs direkt in koordinierte Projekte mehrerer Partner aus mehreren Ländern ein. Während iMERA-plus bereits mitten in der Projektdurchführung ist, bereiten Vertreter aus folgenden 22 Ländern aktuell die ersten Projekte für das EMRP nach Artikel 169 vor: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Großbritannien, Finnland, Frankreich, Italien, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechien, Türkei, Ungarn.

Das EMRP zielt nicht auf isolierte spezielle Förderprojekte für die Industrie oder unmittelbare Tätigkeiten in Normung oder dem gesetzlichen Messwesen, sondern vielmehr auf eine langfristig und nachhaltig angelegte Verbesserung der Grundlagen der Metrologie-Infrastruktur durch Forschung und Entwicklung.

Diese nachhaltige Verankerung der Forschungsergebnisse in bestehenden Strukturen, wie sie Metrologieinstitute und benannte Institute bereitstellen, ist ein Alleinstellungsmerkmal des EMRP. Eine weitere Besonderheit ist, dass die Institute aller europäischer Länder durch ihre Mitgliedschaft in Euramet e. V. von den Ergebnissen direkt profitieren können, auch wenn sie (noch) nicht am Forschungsprogramm selbst teilnehmen.

## 2 Historie

### 2.1 Der Auslöser: MERA

Um das Jahr 2000 konnten mehrere allgemeine Entwicklungen beobachtet werden, die in erstaunlich vergleichbarer Form die europäischen Metrologieinstitute betrafen. Nach 1990 hatten die Öffnung Osteuropas und die Schritte zur Erweiterung der europäischen Union eine komplexere europäische Metrologiestruktur geschaffen, vor allem durch das Entstehen neuer NMIs in den Folgestaaten der Sowjetunion. Gleichzeitig sahen sich die NMIs, teilweise bedingt durch die zunehmende Globalisierung der Wirtschaft, komplexeren Aufgaben gegenübergestellt. Sie waren und sind gefordert, auf neue Herausforderungen bei einem in der Regel konstanten oder abnehmenden Budget zu reagieren, zum Beispiel auf den Bedarf an Rückführung mit kleineren Unsicherheiten in den klassischen Gebieten, in erweiterten Messbereichen oder in neuen Bereichen, wie in der Chemie oder Medizin.

Im Projekt MERA (Metrology in the European Research Area), initiiert und geleitet vom NPL in Großbritannien, untersuchten von 2002 bis 2004 Vertreter von elf nationalen Metrologieinstituten diese Problematik im Detail, die unter dem Stichwort „metrologisches Dilemma“ zusammengefasst wurde.

Als Ausweg wurde eine europäische Koordinierung der Tätigkeiten der NMIs diskutiert. Im Bereich der metrologischen Dienstleistungen erkannte man jedoch in organisatorischer, strategischer und finanzieller Hinsicht so große Unterschiede zwischen den NMIs, dass eine flächendeckende Koordinierung nicht aussichtsreich erschien. Im Forschungs- und Entwicklungsbereich hingegen sah man einen weiten Bereich gemeinsamer Interessen, insbesondere bei der Grundlagenforschung, und auch die organisatorischen Rahmenbedingungen erschienen sehr ähnlich. Es wurde also beschlossen, ein gemeinsames, koordiniertes Forschungsprogramm anzustreben und dies thematisch auf mögliche künftige metrologische Dienstleistungen auszurichten.

<sup>1</sup> Dr. Jörn Stenger, Mitglied des Präsidiums der PTB  
E-Mail: joern.stenger@ptb.de

## 2.2 Die Voraussetzungen: iMERA

Auf der Basis der Ergebnisse des MERA-Projektes gelang es, eine Förderung im Rahmen des sechsten Forschungsrahmenprogramms für ein Anschlussprojekt zu erhalten. In dem von der EU mit 3 Mio. € geförderten Projekt iMERA (implementing the Metrology European Research Area), erarbeiteten Vertreter von 14 NMIs, dem IRMM sowie vier Ministerien von April 2005 bis Dezember 2008 die Voraussetzungen für die Durchführung eines koordinierten Forschungsprogramms.

Zunächst wurden die Forschungsaktivitäten und die Prozesse zur Auswahl der Forschungsthemen in den einzelnen Ländern analysiert und verglichen. Man erkannte, dass inhaltlich sehr ähnliche Vorstellungen existierten, von den Abläufen her jedoch sehr große Unterschiede bestanden. Es war somit möglich, sehr schnell zu einem Konsens über die Forschungsziele zu gelangen. Die Strukturen und Abläufe zur Abwicklung des gemeinsamen Programms mussten hingegen neu entwickelt werden. Es stellte sich aber glücklicherweise heraus, dass es den einzelnen NMIs bis auf wenige Ausnahmen leicht möglich war, sich an den gemeinsamen Strukturen in EURAMET zu beteiligen, ohne die nationalen Strukturen zu ändern.

Der ursprüngliche Plan war, ein gemeinsames Forschungsprogramm ab 2009 durchzuführen, z. B. nach einem ERAnet-Schema. Parallel entwickelte jedoch die EU-Kommission die Politik, mittelfristig weg von der Projektförderung in Richtung Programmförderung zu gehen und hierfür den Artikel 169 des EG-Vertrages anzuwenden. Dieser Artikel besagt, dass sich die Kommission mit Gemeinschaftsgeld an einem Programm von Einzelstaaten der europäischen Union finanziell beteiligen darf, wenn dieses dem Gemeinschaftsinteresse dient. Dies gilt selbst dann, wenn nur wenige Mitgliedsstaaten beteiligt sind. Die Kommission war also auf der Suche nach Möglichkeiten, das politisch gewünschte, aber noch nicht erfolgreich exerzierte Modell des Artikels 169 einzuführen. Das gegenseitige Vertrauen und die Stabilität der Vernetzung der NMIs hatten die Kommission überzeugt, und so schlug die Kommission während der Laufzeit von iMERA den Partnern vor, noch im iMERA-Projekt die Voraussetzungen für eine Förderung nach Artikel 169 zu schaffen.

Drei wesentliche Punkte mussten erfüllt werden: die Formulierung eines gemeinsamen Forschungsprogramms, die Selbstverpflichtung der Mitgliedsstaaten zur Teilnahme und zur Bereitstellung von Ressourcen sowie die Schaffung einer „dedicated implementation structure“, also einer handlungsfähigen Rechtspersönlichkeit zur Abwicklung des Programms.

Die inhaltliche Ausarbeitung des Forschungsprogramms erfolgte maßgeblich unter Zuarbeit der technischen Komitees von EUROMET. Insgesamt 43 „Roadmaps“ wurden erarbeitet, um Forschungsziele für die nächsten ca. 15 Jahre und die dazu erforderlichen Technologieschritte zu identifizieren. Diese Roadmaps wurden schließlich in einem Gesamtprogramm zusammengefasst. EUROMET hatte erkannt, dass es für ein erfolgreiches, durch die Kommission mitzufinanzierendes Programm erforderlich war, auf die sogenannten großen Herausforderungen unserer Zeit zu reagieren, anstatt alleine die Forschung in den Fachgebieten nebeneinander zu stellen. Daher wurden die Forschungsziele im Wesentlichen in den Bereichen Gesundheit, Energie, Umwelt, Neue Technologien, Grundlagen des SI-Systems gebündelt und ergänzt durch fokussierte Einzelthemen aus klassischen Metrologiefeldern. Ende 2006 konnte die inhaltliche Formulierung des Forschungsprogramms im Rahmen des iMERA-Projektes abgeschlossen werden.

EUROMET war in seiner damaligen Struktur aus rechtlicher Sicht nicht als „dedicated implementation structure“ geeignet. Nachdem sowohl die Schaffung eines Büros außerhalb von EUROMET als auch die Beauftragung eines kommerziellen Projektträgers verworfen worden war, entschied die Vollversammlung von EUROMET am 1. Juni 2006, diese neue Funktion und die bisherigen Aufgaben von EUROMET in einer einzigen neuen Organisation zusammenzufassen. Nach sorgfältiger Prüfung möglicher Rechtsformen und der Festlegung der Aufbau- und Ablaufstrukturen wurde am 11. Januar 2007 EURAMET e. V. als ein eingetragener Verein nach deutschem Recht mit Sitz in Braunschweig gegründet. Am 1. Juli 2007 wurden EUROMET aufgelöst und sämtliche Funktionen inkl. der Funktion als regionale Metrologieorganisation (RMO) auf EURAMET e. V. übertragen.

Zusammengefasst wurden im iMERA-Projekt folgende Ziele erreicht:

- Erstellung eines europäischen Metrologieforschungsprogramms auf der Basis von in den TCs erarbeiteten Roadmaps und von Workshops
- Festlegung der nationalen Beiträge
- Etablierung von Strukturen und Prozessen zur Ausführung des Programms.

Besonders bewährt hatte sich die Teilnahme von Vertretern der zuständigen Ministerien aus Deutschland, Großbritannien, den Niederlanden und Tschechien. Sie hat nicht nur Verständnis in den und zwischen den Ministerien entwickelt, sondern auch viel zum Vertrauen der EU auf den Rückhalt aus den nationalen Ministerien und Regierungen beigetragen. Nicht nur die

## „Targeted Programmes“ (TP) und Projekte unter iMERA-plus

TP	Projekttitel	Projektpartner
SI and Fundamental Metrology	The watt balance route towards a new definition of the kilogram	LNE, INRIM, LNE-INM, LNE-SYRTE, METAS
	Avogadro and molar Planck constants for the re-definition of the kilogram	INRIM, IRMM, PTB
	Redefinition of the SI base unit ampere	PTB, NPL, LNE, METAS, MIKES, VSL
	Determination of the Boltzmann constant for the redefinition of the kelvin	PTB, CEM, DANIAMet-DFM, INRIM, IRMM, LNE-INM, NPL
	Optical clocks for a new definition of the second	LNE-SYRTE, PTB, NPL, INRIM, MIKES
	Candela: towards quantum-based photon standards	INRIM, CMI, Metroserf, MIKES, PTB, JV, NPL
Metrology for Health	Breath analysis as a diagnostic tool for early disease detection	VSL, DANIAMet-DFM, IPQ, LNE, PTB
	Metrology on a cellular scale for regenerative medicine	NPL, PTB, LGC, INRIM
	Increasing cancer treatment efficacy using 3D brachytherapy	ENEA-INMRI, BEV, CMI, ITN-LMRI, LNE-LNHB, NMI-VSL, NPL, PTB, SSM, STUK
	External Beam Cancer Therapy	PTB, ENEA-INMRI, INRIM, LNE-LNHB, VSL, NPL, SMU, STUK, UME
	Traceable measurements for biospecies and ion activity in clinical chemistry	PTB, Metroserf, University of Tartu, DANIAMet-DFM, INRIM, LGC, LNE, METAS, SMU, SP, UME
	Traceability of Complex Biomolecules and Biomarkers in Diagnostics – Effecting Measurement Comparability in Clinical Medicine	LGC, NPL, PTB, IRMM
Dimensional Metrology	Traceable Characterization of Nanoparticles	NPL, CEM, CMI, INM, INRIM, METAS, MIKES, PTB
	New Traceability Routes for Nanometrology	INRIM, BEV, CMI, MIKES, NPL, PTB, UME
	Metrology for New Industrial Measurement Technologies	PTB, CMI, INRIM, NPL, MIRS/UM-FS
	Absolute long distance measurement in air	LNE-INM/CNAM, BEV, CEM, CMI, FGI, INRIM, MIKES, VSL, PTB
Metrology for Electricity and Magnetism	Next generation of power and energy measuring techniques	NPL, BEV, METAS, CMI, PTB, TRECAL, CEM, VSL, MIKES, LNE, INRIM, JV, SP, INM, MIRS/SIQ, SMU
	Nanomagnetism and Spintronics	INRIM, PTB, NPL, LNE, UME
	Next generation of quantum voltage systems for wide range applications	PTB, BEV, CEM, INRIM, LNE, METAS, MIKES, PTB
	Enabling ultimate metrological Quantum Hall Effect (QHE) devices	LNE, CEM, INRIM, METAS, MIKES, PTB
	Traceable measurement of field strength and SAR for the Physical Agents Directive	PTB, NPL, LNE, INRIM, STUK, VSL, UME

<sup>1</sup> Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), Centro Español de Metrología (CEM), Czech Metrology Institute (CMI), Danish Fundamental Metrology (DANIAMet-DFM), Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (ENEA-INMRI), Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), Instituto Português da Qualidade (IPQ), Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM), Nuclear and Technology Institute, Metrology Laboratory for Ionising Radiation and Radioactivity (ITN-LMRI), Norwegian Metrology Service (JV), LGC Ltd. (LGC), Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), Institut National de Métrologie/Conservatoire National des Arts et Métiers (LNE-INM), Laboratoire National Henri Becquerel/Commissariat à l'Énergie Atomique (LNE-LNHB), Systèmes de Référence Temps - Espace/Observatoire de Paris (LNE-SYRTE), Bundesamt für Metrologie (METAS), AS Metrosert (Metrosert), Centre for Metrology and Accreditation (MIKES), Slovenian Institute of Quality and Metrology (MIRS/SIQ), University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering (MIRS/UM-FS), National Physical Laboratory (NPL), Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Slovak Institute of Metrology (SMU), SP Technical Research Institute of Sweden (SP), Swedish Radiation Safety Authority (SSM), Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), TRECAL, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), van Swinden Laboratory (VSL)

<sup>2</sup> „Designierte Institute“ sind Einrichtungen, die in Ergänzung zu den NMIs nationale Normale für bestimmte

NMIs, sondern auch die Ministerien waren und sind durch das EMRP vor neue Aufgaben gestellt. Als Budgetgeber müssen sie die nationalen Ressourcenverpflichtungen mittragen, signifikante Teile der Grundfinanzierung über mehrere Jahre einer europäischen Koordinierung zuzuführen. Ministerien stellen Vertreter in Gremien der EU-Kommission und des Ministerrates und haben hier eine wichtige Politikberatungsfunktion. Sie mussten und müssen sich aktiv für das Vorankommen des komplexen Mitentscheidungsverfahrens einsetzen und haben maßgeblich zum Gelingen beigetragen.

### 2.3 Der Testfall: iMERA plus

Ursprünglich sollte das EMRP nach Artikel 169 bereits 2007 im europäischen Parlament und im Ministerrat zur Abstimmung gebracht werden. Wegen der Komplexität und des erforderlichen zeitlichen Vorlaufs des Mitentscheidungsverfahrens (EU-Parlament und Ministerrat müssen zustimmen) wurde dies aber bald als unrealistisch erkannt. Um dennoch beginnen zu können und gleichzeitig die neu eingerichteten Strukturen und Prozesse zu testen, wurde 2007 ein Auszug des EMRP in Form einer ERANet-plus-Maßnahme gestartet.

Insgesamt 18 NMIs<sup>1</sup> und 12 designierte Institute<sup>2</sup> (DI) begannen ihre Arbeit 2008 in 21 dreijährig angelegten Projekten in 4 TPs. Der Gesamtetat liegt bei 64 Mio. Euro, wobei die Kommission ein Drittel beiträgt.

### 3 Wissenschaftlich-fachliche Ziele des EMRP nach Artikel 169

Ziel des EMRP ist es, die wissenschaftlich-technische Metrologie-Infrastruktur in Europa zu koordinieren und weiterzuentwickeln – zum größtmöglichen Nutzen aller, die sich auf präzise und vergleichbare Messergebnisse verlassen müssen: die Industrie bei der Optimierung von Produktionsabläufen, die Normung, die Politik im Verbraucher- und Klimaschutz, das

Eichwesen, das Ingenieurwesen und viele Bereiche der Wissenschaft.

Das EMRP ist der entscheidende Schritt hin zu einer wissenschaftlichen, finanziellen und organisatorischen Integration der europäischen Metrologie-Forschungsgemeinschaft. Mit seiner ca. siebenjährigen Laufzeit und dem Gesamtbudget von 400 Mio. € wird es Forschungsansätze ermöglichen, die außerhalb der Möglichkeiten einzelner NMIs liegen würden. Folgerichtig ist das EMRP an den großen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Fragen unserer Zeit ausgerichtet und verfolgt Metrologieforschung zur Lösung von Schlüsselproblemen z. B. in den Bereichen der Energieversorgung, Umwelt, Sicherheit oder Gesundheit. Ferner steht Messtechnik an den technologischen Grenzen im Fokus, mit der Innovationsimpulse gesetzt und die produzierende Industrie im rohstoffarmen und exportintensiven Europa gestützt werden kann.

Das EMRP gliedert sich in eine Reihe von Targetprogrammen (TP) mit einem Fahrplan wie in der Tabelle unten dargestellt.

Das EMRP nach Artikel 169 unterscheidet sich vom EMRP nach iMERA-plus durch die Zusammenfassung von Einzelthemen (in iMERA-plus „focussed single discipline“) in die ergänzenden Querschnittsprogramme „Darstellung des SI“ und „Industrie“. Dazu wurde noch ein thematisch offenes, nur an wissenschaftlicher Exzellenz auszurichtendes Programm hinzugenommen.

Alle TPs müssen sich durch den metrologischen Charakter von anderen Forschungsprogrammen wie den Rahmenprogrammen der europäischen Union abgrenzen, da der Kommission jegliche Doppelförderung verboten ist.

Gemessen an der gesellschaftlich-politischen Bedeutung sind die korrelierten Programme zu Energie und Umwelt die schwerstgewichtigen. Für beide gibt es daher jeweils ein Folgeprogramm 2013, was längerfristige Ansätze zulässt.

		Targetprogramm (TP)	Gesamtbudget (M€)	Status Ende 2009
Aufruf 1	2009	Energie (1.)	34	Aufruf erfolgt
Aufruf 2	2010	Umwelt (1.)	48	Aufrufe in Vorbereitung
		Industrie (1.)	48	
Aufruf 3	2011	Gesundheit (2.)	30	Aufrufe vorgesehen
		SI-Darstellung (1.)	30	
		Neue Technologien	30	
Aufruf 4	2012	Industrie (2.)	40	
		SI-Darstellung (2.)	40	
		Offener Exzellenz-Aufruf	10	
Aufruf 5	2013	Energie (2.)	55	
		Umwelt (2.)	35	

Der strategische Rahmen des TP Energie wurde mit zwei Rahmenbedingungen eingegrenzt. Die Projekte müssen:

1. den Aufbau eines nachhaltigen, umweltfreundlichen und versorgungssicheren europäischen Energiesystems unterstützen und
2. metrologischen Charakter haben, d. h., Konzepte der Rückführung bzw. des präzisen, vergleichbaren und verlässlichen Messens umsetzen.

Das TP Umwelt wird Gelegenheit geben, in gemeinsamer Forschung metrologische Grundlagen für größere und grenzüberschreitende Umweltüberwachungssysteme zu entwickeln, wie z. B. Kalibrierverfahren für die satellitengestützte Messung von Umweltparametern oder für vernetzte terrestrische Überwachungssysteme.

Im Bereich Gesundheit werden sich die strategischen Schwerpunkte erst nach einer Analyse der Erfolge der entsprechenden iMERA-plus-Projekte festlegen lassen. Möglich wäre ein verstärktes Aufgreifen von metrologischen Herausforderungen im Bereich der Lebensmittelsicherheit.

Bei der Vorbereitung des EMRP nach Art. 169 hatte das EMRP-Komitee beschlossen, alle Forschungsthemen zu größeren TPs zu bündeln, um den Aufwand bei Aufruf und Begutachtungsprozessen zu begrenzen und eine zu kleinteilige Planung der Forschungsprojekte zu vermeiden. Ein großer Teil der zu koordinierenden nationalen Forschungsprogramme lässt sich in die drei gesellschaftlich-politisch motivierten Horizontal-Programme zu Energie, Umwelt und Gesundheit abbilden. Man erkannte, dass die „verbleibenden“ metrologischen Themen in der Bereitstellung von Rückführung und metrologischen Methoden für verbesserte Produktionsabläufe eine Gemeinsamkeit haben.

Das Programm zu SI und Fundamentalkonstanten in iMERA-plus war durch die Aufforderung des CIPM motiviert worden, Forschung hinsichtlich einer möglichen Neudefinition der SI-Einheiten auf der Basis von festgelegten Naturkonstanten zu betreiben. Die hierfür wesentlichen Experimente zur Messung des Planckschen Wirkungsquantums, der Boltzmannkonstante oder der Avogadrokonstante stehen kurz vor dem Abschluss.

Das TP SI-Darstellung knüpft hieran an. Es zielt weniger auf explorative Vorlauftforschung, sondern mehr auf die Realisierung neuer Primär- und Sekundärnormale, die nach Validierung in die Rückführungsstrukturen eingebracht werden sollen.

Das TP Industrie wiederum zielt auf eine direkte Weitergabe der Einheiten und des metrologischen Know-hows in die Industrie. Es ist deutlich anwendungsnäher und beinhaltet z. B. auch

metrologische Konzepte zur Verbesserung industrieller Produktion wie inline-Messtechnik oder die metrologische Verknüpfung mehrerer simultan gemessener Produktionsparameter.

Die TPs zu Industrie und SI-Darstellung stellen die Belange der Industrie in den Vordergrund und ergänzen somit die aus gesellschaftlich-politischen Herausforderungen formulierten TPs zu Energie, Umwelt und Gesundheit.

Das TP Neue Technologien soll bestimmte ausgesuchte Themenfelder, wie z. B. Sicherheitsforschung, beinhalten. Der offene Exzellenzaufruf ist bis auf die Forderung nach metrologischen Ansätzen thematisch nicht eingeschränkt. Hier sollen besonders innovative, durchaus auch risikoreiche Forschungsansätze gefördert werden, die alleine durch ihre wissenschaftliche Exzellenz überzeugen.

## 4 Struktur und Abläufe

### 4.1 Die Programmebene

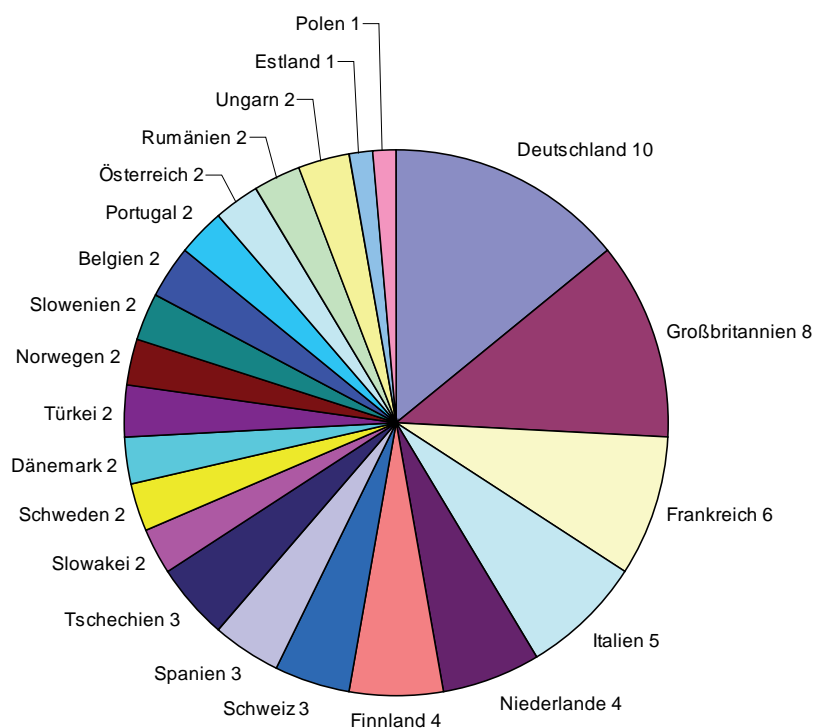
Das EMRP-Komitee setzt sich aus Vertretern der EURAMET-Mitglieder (d. h. NMIs) zusammen, deren Länder teilnehmende Staaten sind, wobei jedes Land einen Vertreter entsendet. Der EMRP-Ausschuss ist das zentrale Entscheidungsgremium des EMRP und für alle das EMRP betreffende Angelegenheiten zuständig, einschließlich der Entscheidungen über die Festlegung und Aktualisierung des Programms, die Planung der Aufrufe, das Haushaltsprofil, die Förder- und Auswahlkriterien, das Begutachtungsteam, die Genehmigung der Rangliste der zu finanzierenden Projekte für jedes TP, die Überwachung der wissenschaftlichen Fortschritte und die Überwachung einer angemessenen und ordnungsgemäßen Durchführung der Arbeiten der Geschäftsstelle für das EMRP.

Das EMRP-Komitee wählt einen Vorsitzenden (der automatisch stellvertretender Vorsitzender von EURAMET ist) und einen stellvertretenden Vorsitzenden. Die Stimmengewichtung im EMRP-Komitee ist mit der Wurzel der nationalen Beiträge gewichtet. Dadurch sollen sich einerseits die deutlich unterschiedlichen nationalen finanziellen Beiträge abbilden, andererseits soll nicht eine sehr kleine Gruppe größerer NMIs die absolute Mehrheit haben. Die nachstehende Tabelle zeigt die Verteilung der nationalen Beiträge und der Stimmengewichtung im EMRP-Komitee.

Messgrößen vorhalten und entsprechende Kalibriermöglichkeiten anbieten. Die Designierung erfolgt im Rahmen des „Mutual Recognition Arrangements“ des Comité International des Poids et Mesures (CIPM MRA).

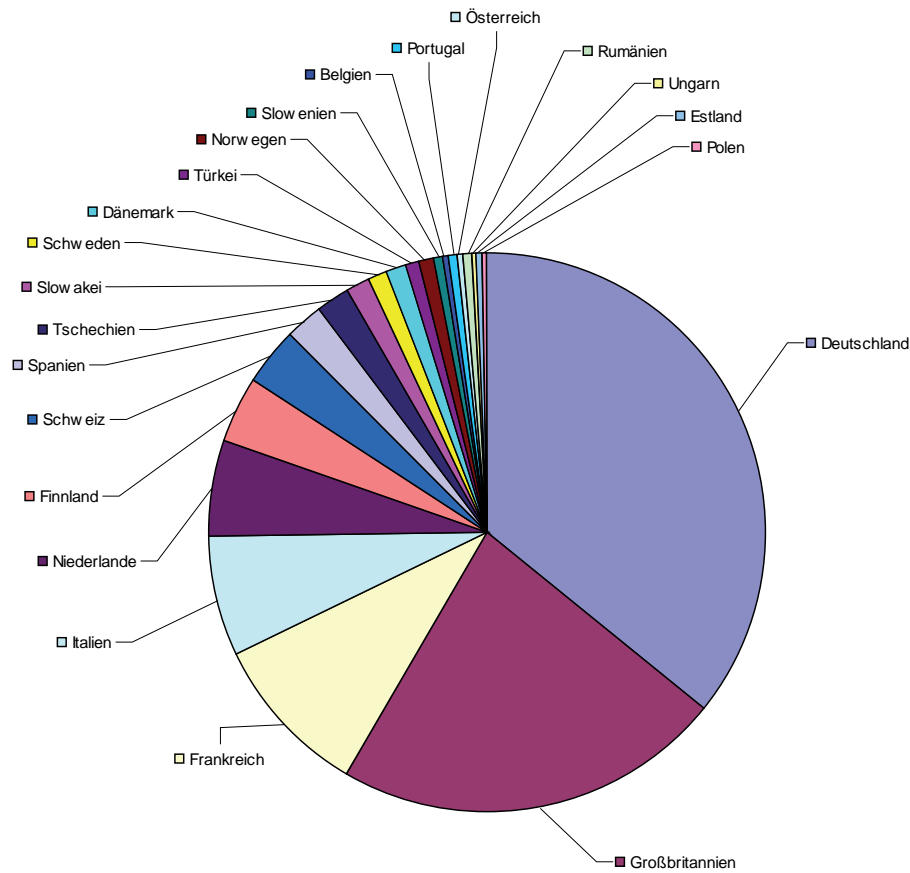


	nationale Beiträge 1000 € pro Jahr	nationale Beiträge 1000 € gesamt	relativ	Stimmen im EMRP- Komitee	relativ
Deutschland	10 225	71 573	35,8 %	10	14,3 %
Großbritannien	6406	44 846	22,4 %	8	11,4 %
Frankreich	2716	19 015	9,5 %	6	8,6 %
Italien	2012	14 082	7,0 %	5	7,1 %
Niederlande	1547	10 827	5,4 %	4	5,7 %
Finnland	1148	8033	4,0 %	4	5,7 %
Schweiz	918	6424	3,2 %	3	4,3 %
Spanien	639	4475	2,2 %	3	4,3 %
Tschechien	614	4295	2,2 %	3	4,3 %
Slowakei	361	2526	1,3 %	2	2,9 %
Schweden	341	2389	1,2 %	2	2,9 %
Dänemark	319	2235	1,1 %	2	2,9 %
Türkei	227	1588	0,8 %	2	2,9 %
Norwegen	200	1397	0,7 %	2	2,9 %
Slowenien	180	1257	0,6 %	2	2,9 %
Belgien	120	840	0,4 %	2	2,9 %
Portugal	120	840	0,4 %	2	2,9 %
Österreich	120	840	0,4 %	2	2,9 %
Rumänien	120	840	0,4 %	2	2,9 %
Ungarn	120	840	0,4 %	2	2,9 %
Estland	60	420	0,2 %	1	1,4 %
Polen	60	420	0,2 %	1	1,4 %
Gesamt	28 573	200 000	100 %	70	100 %



Stimmen im EMRP-Komitee

Nationale Beiträge in 1000 € gesamt



Da es aufgrund unterschiedlichen Erfolges bei den Projektvorschlägen dazu kommen kann, dass manche Länder ihre Mittel nicht ausschöpfen oder deutlich mehr bräuchten, haben sich alle Länder verpflichtet, gegebenenfalls zusätzlich zu ihren regulären nationalen Beiträgen eine Reserve bereitzustellen, die maximal noch einmal der Hälfte der regulären Beiträge entspricht. Das Gesamtbudget des EMRP von 400 Mio. Euro bleibt jedoch in jedem Fall unverändert.

Die Finanzierung des EMRP erfolgt im sogenannten „mixed mode“, einer Mischung aus 86 % „virtual common pot“ für die eigentliche Projektfinanzierung und 10 % „real common pot“ für die Bezahlung von Forscherstipendien. Dazu kommen 4 % für die laufenden Kosten, im Wesentlichen die der Geschäftsstelle.

Der „virtual common pot“ bedeutet, dass einerseits die NMIs und DIs, die hierfür berechtigt sind, eigene Ressourcen z. B. in Form der Projektarbeit der eigenen Mitarbeiter bereitstellen und somit gemäß der Personalkostensätze virtuell in den „common pot“ einzahlen und andererseits die Kommission dies zu gleichen

Teilen gegenfinanziert. Die Einschränkung auf die NMIs und DIs wurde vorgenommen, da hier die maßgebliche Metrologieforschung im Rahmen der nationalen Metrologieforschungsprogramme erfolgt und diese Institute die Aufgabe haben, langfristig die metrologische Infrastruktur bereitzustellen, so dass somit die nachhaltige Implementierung der Forschungsergebnisse sichergestellt wird.

Der „real common pot“ wurde eingeführt, um Beiträge von exzellenten Forschern außerhalb der Metrologengemeinschaft zu fördern. Hierfür zahlen NMIs und Kommission Geld in einen Finanztopf, das dann völlig unabhängig von der Herkunft des Geldes für Forscherstipendien eingesetzt wird.

	förderberechtigt		Mio. €
<b>A Modul Projekte</b>	NMIs, DIs, Institute des JRC	<b>86 %</b>	<b>344</b>
<b>B Modul Forscherstipendien</b>		<b>10 %</b>	<b>40</b>
B.1 Exzellenzstipendien	Alle Institutionen außer NMIs und DIs	7,5 %	30
B.2 Mobilitätsstipendien	NMIs, DIs; Institutionen, die B.1 erhalten	1,5 %	6
B.3 Mobilitätsstipendien für Nachwuchsforscher	Alle am EMRP beteiligten Institutionen	1,0 %	4
<b>C Laufende Kosten</b>		<b>4 %</b>	<b>16</b>
		<b>100 %</b>	<b>400</b>

Das EMRP ist kein EU-Programm, sondern ein EURAMET-Programm, das durch die EU kofinanziert wird. Insofern unterscheidet es sich maßgeblich von den europäischen Rahmenprogrammen. Das heißt aber auch, dass EURAMET für Strategie, Planung, Durchführung und Überwachung verantwortlich ist. Die Kommission gibt im Wesentlichen lediglich finanz- und abwicklungstechnische Regeln vor, die daher rühren, dass die Kommission Gemeinschaftsgeld einsetzt.

EURAMET hat in Zusammenarbeit mit der Kommission folgende Schritte für die Durchführung festgelegt und entsprechende Kompetenzen für die Gremien von EURAMET definiert:

- **TP-Festlegung:** Das EMRP-Komitee definiert die strategischen und organisatorischen Rahmenbedingungen für ein TP. Das EMRP-Komitee bestimmt für jedes TP einen Berichtsersteller („Guardian“), der die strategischen Rahmenbedingungen vorbereitet und später die Ausführung des Programms begleitet.
- **Aufruf Stufe 1:** Im Rahmen eines öffentlichen Aufrufs können von allen interessierten Einrichtungen oder auch Einzelpersonen Vorschläge für Forschungsthemen gemacht werden.
- **Vorbereitung der Stufe 2:** Das EMRP-Komitee sichtet die eingegangenen Themenvorschläge und definiert daraus die Themen für künftige gemeinsame Forschungsprojekte. Hierbei können Ideen zusammengefasst oder auf verschiedene Projekte aufgeteilt werden.
- **Aufruf Stufe 2:** Es wird zur Bildung von Konsortien aufgerufen, die für die festgelegten Projektthemen konkrete Vorschläge zu den Arbeitspaketen, den Partnern und der Budgetverteilung erarbeiten. Hierbei sollen Mitarbeiter von NMIs oder DIs die Koordinierung übernehmen. Es sind die Vorgaben bezüglich der Berechtigung für Projekt- oder Stipendienförderung zu beachten.
- **Begutachtung:** Im Rahmen einer Konferenz legen unabhängige Gutachter eine Prioritätenreihenfolge der Projektvorschläge fest. Bei

der Konferenz gibt es die Möglichkeit eines fachlichen Austauschs zwischen Gutachtern und Projektkoordinatoren.

- **Verabschiedung:** Das EMRP-Komitee verabschiedet die Prioritätenliste ggf. mit Anpassungen der Budgetansätze der einzelnen JRPs. Sie wird dem wissenschaftlichen Beirat (Research Council) zur Kommentierung vorgelegt.
- **Ausführung:** Gemäß der Prioritätenliste kommen die Projekte im Rahmen des Budgetrahmens zur Ausführung. Hierfür werden Konsortialverträge zwischen den Projektpartnern und EURAMET abgeschlossen.

#### 4.2 Die Projektebene

Jedes Targetprogramm umfasst mehrere Projekte, sogenannte Joint Research Projects (JRPs), mit einer Projektlaufzeit von drei Jahren und einem Gesamtbudget von ca. 3 Mio. €.

Das Projektkonsortium, an dem mindestens drei Institutionen aus mindestens drei Staaten teilnehmen müssen, kann als eine Art Organisationseinheit mit verschiedenen Arbeitsgruppen (verschiedene Projektpartner) angesehen werden.

Der Projektkoordinator, der zu Beginn von den Beteiligten gewählt wird, ist für die erfolgreiche Durchführung, das Budget und die Berichte verantwortlich. Er hat die Möglichkeit, z. B. bei Ausfall eines Partners, Budgetansätze zwischen den Partnern zu verschieben, wohingegen das Gesamtbudget des Projektes unverändert bleibt. Partner, die zusätzliche Aufgaben übernehmen, müssen sicherstellen, dass die Aufwendungen durch die nationalen Verpflichtungen gedeckt sind. Die nationalen Reserven, die 50 % der Verpflichtungen betragen, geben hier einigen Spielraum.

#### 5 Ausblick

Das EMRP hat bereits heute, nach Anlaufen der iMERA-plus-Projekte und den Entscheidungen von europäischem Parlament und Ministerrat

zum EMRP nach Artikel 169 einen starken Einfluss auf die beteiligten NMIs und die Entwicklung von EURAMET ausgelöst.

Durch die ersten ausgewählten 21 iMERA-plus-Projekte sind zahlreiche neue Verbindungen zwischen den NMIs und DIs geknüpft worden, und die Zahl der Doktoranden ist sprunghaft gestiegen. Die zu erwartenden, deutlich mehr als 100 EMRP-Projekte im Rahmen von Art. 169 werden alle Bereiche der NMIs erfassen und einen weiteren starken Schub auslösen.

Das EMRP beeinflusst stark die Forschungsstrategien in den einzelnen NMIs und DIs, die nun eine europäisch koordinierte Ausprägung erhalten. Obwohl die EMRP-Beteiligung statistisch nur ca 20 % der FuE-Mittel direkt betrifft, ist die strategische Wirkung größer, da die JRP's gerade die zukunftsweisenden Themen aufgreifen und eine Reihe von Folgeinvestitionen in den NMIs und DIs nach sich ziehen.

Somit bildet das EMRP die Basis einer weitergehenden Integration der metrologischen Infrastruktur in Europa. Es gibt die Möglichkeit, Zentren herauszubilden, in denen bestimmte Forschungsschwerpunkte gebündelt sind, und auch die Dienstleistungsangebote so zu koordinieren, dass nicht mehr alle Messgrößen in jedem Land vorgehalten werden müssen. Gerade mittelgroße NMIs mit hohem Exzellenzanspruch planen, sich auf bestimmte TPs zu konzentrieren.

Nach ca. drei Jahren Laufzeit und am Ende werden Kommission und europäisches Parlament das EMRP evaluieren und bei Erfolg zusammen mit EURAMET über mögliche Folgeprogramme nachdenken. So, wie die ersten Projekte angelaufen sind und sich die Strukturen bei EURAMET bereits gefestigt haben und funktionieren, kann man hier zuversichtlich sein.

**Präzisions-Drucksensoren  
für „Fit and forget“  
Anwendungen**

**HJK**

- Drucksensoren
- Druckschalter
- Transducer und Zuberhör  
für die invasive physiologische  
Druckmessung

HJK Sensoren + Systeme GmbH & Co. KG  
Engelschalkstrasse 32, D - 86316 Friedberg  
Tel. +49 (0)821-26 99 00  
FAX +49 (0)821-26 99 011  
info@hjk.de · www.hjk.de



**Ihr kompetenter Partner für die Druckmessung**

# Das Targetprogramm „Elektrizität und Magnetismus“ in iMERA-plus

Uwe Siegner<sup>1</sup>

Die metrologisch abgesicherte Messung elektrischer und magnetischer Größen bildet die Grundlage für die Wertschöpfung in der Mikro- und Nanoelektronik, die Sicherung der elektrischen Energieversorgung und für den Schutz der Bevölkerung vor gesundheitsschädlichen elektromagnetischen Strahlenbelastungen. Im Targetprogramm Elektrizität und Magnetismus wird in fünf „Joint Research Projects“ (JRPs) elektrische Messtechnik entwickelt, um den genannten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen in Europa zu begegnen. An dem dreijährigen Programm mit einem Umfang von ca. 13 Mio. € beteiligen sich nationale Metrologieinstitute aus 16 europäischen Ländern. Die PTB ist an allen fünf JRPs beteiligt, koordiniert zwei der Projekte und zeichnet für etwa 30 % der Arbeiten des Targetprogramms verantwortlich.

Zur nachhaltigen Sicherung der Versorgung mit elektrischer Energie werden im JRP „The next generation of power and energy measuring techniques“ die metrologischen Grundlagen für die Messung von Netzqualitätskenngrößen („Power Quality“) entwickelt. Diese Größen beschreiben die Abweichung elektrischer Wechselgrößen, wie zum Beispiel der Spannung aus der normalen Haushaltssteckdose, von der Form einer perfekten Sinuswelle. Solche Abweichungen werden durch nichtlineare elektrische Verbraucher verursacht und entstehen bei der elektrischen Energieerzeugung mit Hilfe regenerativer Energiequellen wie z. B. Windkraftanlagen. Die Folgen schlechter Netzqualität können drastisch sein und reichen von der Erhöhung der Verluste bei der Übertragung elektrischer Energie bis zum Totalausfall des Versorgungsnetzes. Die in dem JRP entwickelte Messtechnik dient dazu, die Netzqualität des Versorgungsnetzes zu überwachen, und bildet die Grundlage für die Überprüfung der Einhaltung normativer Vorgaben, durch die die Verzerrung der Netzsignale durch elektrische Geräte und Anlagen begrenzt werden soll. Dazu wird in dem JRP an Abtastverfahren zur Erfassung komplexer elektrischer Signale gearbeitet. Um aus diesen Messungen die Netzqualitätskenngrößen zu ermitteln, werden spezielle Algorithmen entwickelt. Die Abtastverfah-

ren sind direkt nur auf Niederspannungssignale anwendbar. Daher beschäftigen sich zwei Arbeitspakete des JRP mit der Entwicklung und metrologischen Charakterisierung von Spannungs- und Stromwandlern, die die Transformation von Hochspannungen und großen Strömen in Bereiche ermöglichen, in denen die Abtastverfahren benutzt werden können.

Das JRP „Traceable measurement of field strength and SAR for the Physical Agents Directive“ dient unmittelbar der Umsetzung der EU-Richtlinie 2004/40/EC „Physical Agents Directive“, die Grenzwerte für die Belastung durch elektromagnetische Strahlung am Arbeitsplatz EU-weit verbindlich regelt. Für den Frequenzbereich von 100 kHz bis 10 GHz wird als Messgröße die spezifische Absorptionsrate (SAR) betrachtet: die in biologischem Gewebe pro Masse durch eine eingestrahelte elektromagnetische Welle deponierte Leistung. Von 10 GHz bis 300 GHz wird die eingestrahelte Leistungsflussdichte als Messgröße herangezogen. Die in Europa existierenden Normale für diese Größen überdecken nicht die gesamten o. g. Frequenzbereiche. Eines der Hauptziele des JRP ist es, in den nicht abgedeckten Frequenzbereichen Sonden für die Messung der spezifischen Absorptionsrate und der Leistungsflussdichte zu entwickeln und rückzuführen, um damit die Basis für die Überwachung der Einhaltung der EU-Richtlinie 2004/40/EC zu schaffen. Die Arbeiten dieses JRP werden von der PTB koordiniert.

Magnetische Nanostrukturen finden heute zahlreiche Anwendungen in Schlüsseltechnologien, wie der Datenspeicherung und -verarbeitung und der Sensorik. Um diese Technologien metrologisch zu unterstützen, wird im JRP „Nanomagnetism and Spintronics“ an der Rückführung magnetischer Messungen an Nanostrukturen gearbeitet. Ein Arbeitspaket zielt auf die Rückführung magnetischer Feldmessungen mit einer Ortsauflösung unter 100 nm mit Hilfe der Magnetkraftmikroskopie ab (Magnetic Force Microscopy; MFM). Bild 1 illustriert das Konzept. Mit Hilfe einer lithographisch gefertigten Referenzprobe mit bekannter Magnetisierungsverteilung, deren Feldverteilung berechenbar ist

<sup>1</sup> Dr. Uwe Siegner,  
Leiter der Abteilung  
„Elektrizität“ der PTB  
E-Mail:  
uwe.siegner@ptb.de

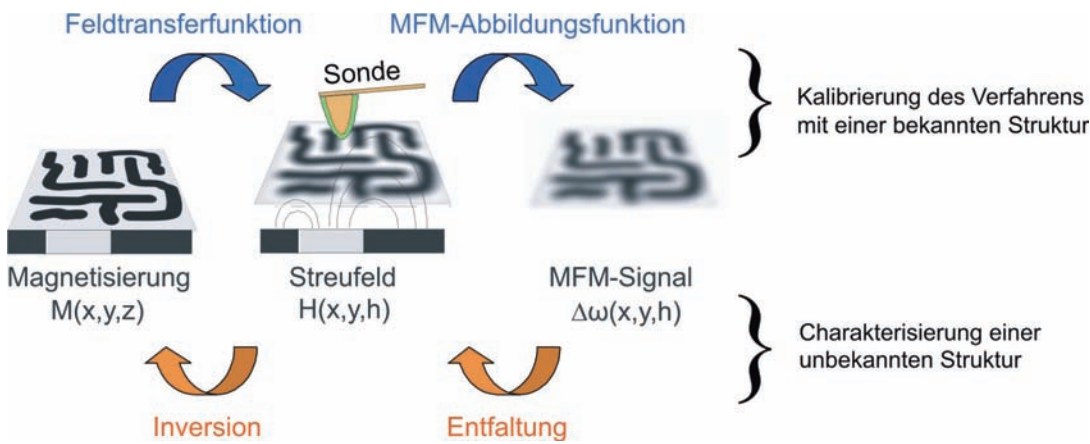


Bild 1: Rekonstruktion der magnetischen Feldverteilung und der Magnetisierungsverteilung ausgehend von einem mit Magnetkraftmikroskopie (MFM) gemessenen Bild.

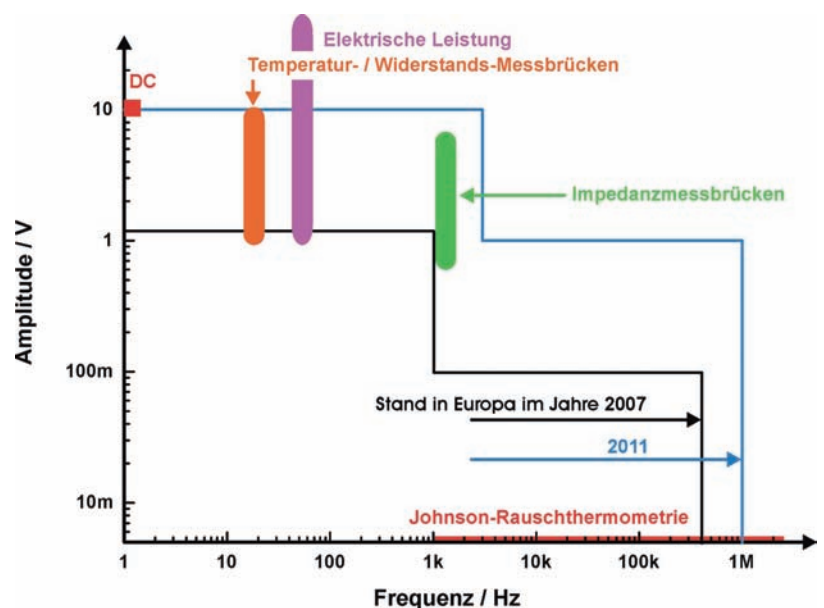
und mit magneto-optischen Methoden charakterisiert werden kann, lässt sich eine MFM-Abbildungsfunktion rückgeführt bestimmen. Mit dieser Funktion kann die Feldverteilung einer unbekanntem Struktur aus ihrer MFM-Abbildung rekonstruiert werden. Unter bestimmten Randbedingungen lässt sich aus der Feldverteilung auch die Magnetisierungsverteilung berechnen. Das Schaltverhalten nanoskaliger magnetischer Datenspeicher, wie MRAMs (Magnetic Random Access Memory), wird durch die Dynamik der Magnetisierung bestimmt. Die Rückführung magnetodynamischer Messungen und die Entwicklung von Messmethoden für neuartige Schaltkonzepte ist das Ziel eines weiteren Arbeitspakets. Mit Hilfe einer neuen Messmethode wurde kürzlich demonstriert, wie sich für die Anregung einer magnetischen Speicherzelle mit einem spinpolarisierten Strom („Spin Torque“-Anregung) die für dieses System kürzest mögliche Schaltzeit realisieren lässt [1]. Ein Arbeitspaket zur Messung sehr kleiner magnetischer Momente mit Nano-SQUIDs (Superconducting Quantum Interference Device) und Hall-Sensoren bildet die dritte Säule des JRP.

Die Entwicklung von mikroelektronischen Komponenten erfordert präzise Messungen der elektrischen Spannung über einen weiten Frequenzbereich. An der Spitze der Kalibrierkette, bei den nationalen Metrologieinstituten, ist es daher erforderlich, die Spannungsmessung auf dem Josephson-Effekt abzustützen, der als Quanteneffekt Messungen mit höchster Reproduzierbarkeit und Präzision rückgeführt auf Fundamentalkonstanten ermöglicht. Das Ziel des von der PTB koordinierten JRP „Next generation of quantum voltage systems for wide range applications“ (JoSy) ist es, den Spannungs- und Frequenzbereich von Josephson-Quantennormalen zu erweitern und diese Normale verstärkt für die Wechselspannungsmesstechnik nutzbar zu machen. Bild 2 zeigt die Ausgangssituation in Europa in 2007 und die durch das JRP angestrebte Erweiterung sowie wichtige Anwendungen der Wechselspannungsmesstech-

nik. In dem JRP werden sowohl binäre programmierbare als auch impulsgetriebene Josephson-Schaltungen weiterentwickelt. Darauf aufbauend werden Josephson-Synthesizer zur Spannungserzeugung und komplette quantenbasierte Josephson-Messsysteme entwickelt. Im Bereich der Schaltungsfertigung konnte in Zusammenarbeit mit dem nationalen Metrologieinstitut der USA, dem NIST, bereits ein wichtiger Fortschritt erzielt werden: die Fertigung einer binären programmierbaren 10-V-Josephson-Schaltung in SNS-Technologie (S: Supraleiter, N: Normalleiter) anstelle der bisher verwendeten SINIS-Technologie (I: Isolator) [2]. Die Vermeidung der sehr dünnen, stör anfälligen Isolatorschicht verspricht eine deutliche Erhöhung der Fertigungsausbeute.

Messungen des elektrischen Widerstands, abgestützt auf den Quanten-Hall-Effekt (QHE), sind ein wichtiger Eckpfeiler der elektrischen Metrologie. Im JRP „Enabling ultimate metrological Quantum Hall Effect devices“ werden daher die Reproduzierbarkeit und Universalität des QHE und der Parameterbereich, in dem er anwendbar ist, untersucht. Dazu sollen unter

Bild 2: Spannungsamplituden- und Frequenzbereich, für den im Jahre 2007 Josephson-Normale in Europa verfügbar waren, und die durch das JRP JoSy angestrebte Erweiterung. Farblich markiert sind die Spannungs- und Frequenzbereiche wichtiger Anwendungen der Wechselspannungsmesstechnik. Nicht gezeigt: Kalibrierung von Thermokonvertern für den Wechsel-Gleich-Transfer und von A/D-Wandlern über einen weiten Frequenzbereich.



anderem QHE-Widerstände aus Graphen, einer zweidimensionalen Kohlenstoffschicht aus nur einer Atomlage, entwickelt werden. Untersuchungen sollen klären, ob Graphen-Bauelemente metrologisch nutzbare quantisierte Widerstandswerte bei höheren Temperaturen und/oder niedrigeren Magnetfeldern zeigen als die bisher verwendeten Bauelemente aus III-V-Halbleitern. Zur Untersuchung der Universalität des QHE werden Präzisionsmessungen des gebrochenzahligen QHE sowie Vergleiche von QHE-Widerständen mit einer relativen Unsicherheit von  $10^{-11}$  durchgeführt. Integrierte Schaltungen von QHE-Widerständen erlauben es, Widerstandswerte über einen mehrere Dekaden überdeckenden Bereich zu realisieren. Die Verlässlichkeit

dieser Schaltungen soll systematisch untersucht werden.

Dieser kurze Überblick zeigt, dass das Targetprogramm Elektrizität und Magnetismus ein breites Themenspektrum behandelt, das von der Quantenmetrologie zur Feld- und Energiemess-technik reicht. Das Programm bündelt die Expertise der europäischen nationalen Metrologieinstitute und wird zu substantziellen Fortschritten in der elektrischen Metrologie zum Nutzen von Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft in Europa führen.

[1] *S. Serrano-Guisan* et al., Phys. Rev. Lett. **101**, 087201 (2008)

[2] *F. Müller* et al., IEEE Trans. Appl. Supercond. **19**, 981 (2009)

# iMERA-plus und das Targetprogramm „Dimensionelle Metrologie“

Harald Bosse<sup>1</sup>

Zu Beginn des Jahres 2006 wurden die Roadmaps für das TP Dimensionelle Metrologie innerhalb des EURAMET TC Length ausgearbeitet. Hieraus entstanden vier Roadmaps, in denen die künftigen Schwerpunkte der Arbeiten der europäischen Metrologieinstitute im Bereich der dimensionellen Metrologie beschrieben wurden: „Dimensional metrology for micro- and nanotechnologies“, „Dimensional metrology for advanced manufacturing technologies“, „Long range dimensional metrology“ und „Dimensional metrology as enabling technology for long-term fundamental research“. Diese Roadmaps bilden auch die Grundlage und Orientierung für den Teil des EMRP, der die dimensionelle Metrologie betrifft. Zu diesem TP wurde im Sommer 2007 zur Einreichung von Joint Research Projects (JRP) aufgerufen. Es wurden daraufhin JRP-Konsortien im TC Length gebildet, die schließlich acht konkurrierende Vorschläge für gemeinsame Forschungsprojekte ausgearbeitet und eingereicht haben. Durch die externen Gutachter wurden Ende Oktober 2007 vier JRP-Vorschläge für die Förderung im Rahmen des iMERA-plus-Programms vorgeschlagen. Diese vier geförderten JRP-Projekte, die seit Frühjahr 2008 erfolgreich bearbeitet werden, sollen hier kurz vorgestellt werden.

## JRP 1.1 Traceable Nanoparticle Characterisation (Nanoparticle)

Bei den verschiedenen Anwendungen von Nanopartikeln kommt es häufig auf deren Größe und Form sowie die Größenverteilung an. Es existieren zwar schon Referenzmaterialien für die Kalibrierung von Partikelmessgeräten, allerdings sind diese bislang noch nicht mit verschiedenen Messverfahren unabhängig rückgeführt und verglichen worden.

Im JRP 1.1 erarbeitet ein Konsortium von neun europäischen Metrologieinstituten unter Koordinierung des britischen NPL sowohl Methoden zur Probenpräparation als auch zur Charakterisierung von sphärischen und nicht-sphärischen Nanopartikeln. Als Messmethoden werden dabei sowohl mikroskopische, bildgebende Messverfahren an Partikeln auf ebenen Substraten angewandt (Transmissions- und Ras-

terelektronenmikroskopie, atomare Kraft- und optische Mikroskopie), als auch Streulichtmethoden an Partikeln in wässriger Umgebung (Kleinwinkel-Röntgenstreuung, Photonen-Kreuzkorrelationspektroskopie). In ersten Ergebnissen konnte die prinzipielle Realisierbarkeit der neuen Messmethoden gezeigt werden. Der Schwerpunkt weiterer Arbeiten liegt bei der Aufstellung von Messunsicherheitsbilanzen und in der Neuentwicklung von Messmethoden wie der Kreuzkorrelationspektroskopie im tiefen ultravioletten Spektralbereich sowie der Charakterisierung von nicht-sphärischen Partikeln.

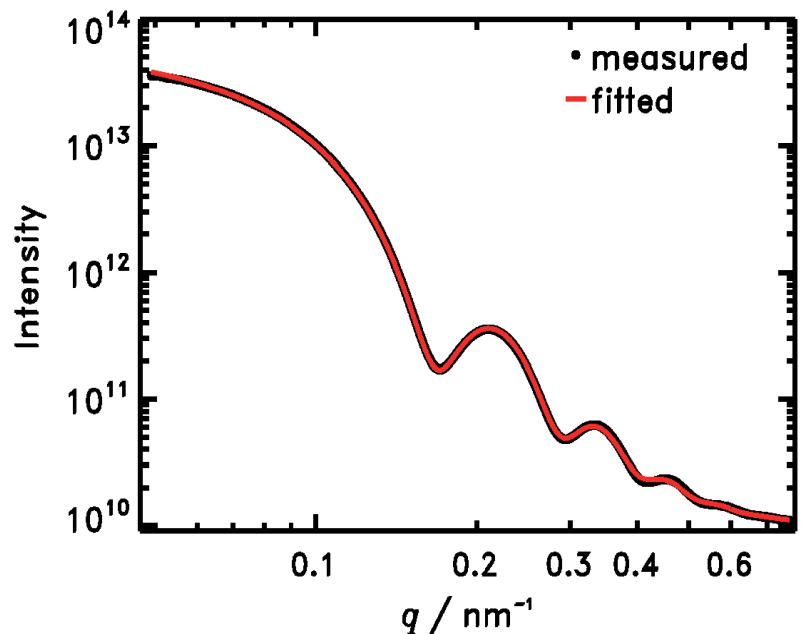


Bild 1: Mit Kleinwinkel-Röntgenstreuung gemessene und simulierte Intensitätsverteilung für Goldpartikel.

Bild 1 zeigt die Auswertung einer Kleinwinkel-Röntgenstreuungsmessung an Gold-Nanopartikeln von etwa 50 nm Durchmesser. An die gemessene Intensitätsverteilung der gestreuten Strahlung wird eine simulierte Intensitätskurve approximiert und daraus der mittlere Partikeldurchmesser und die Verteilungsbreite bestimmt. Bild 2 zeigt eine transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme von Silica-Partikeln mit einem Durchmesser von etwa 160 nm auf einem Kohle-Loch-Film. Hierbei kann ebenfalls durch den Vergleich mit Simulationsdaten der Partikeldurchmesser bestimmt werden.

<sup>1</sup> Dr. Harald Bosse, Leiter der Abteilung „Fertigungsmesstechnik“ der PTB  
E-Mail: harald.bosse@ptb.de



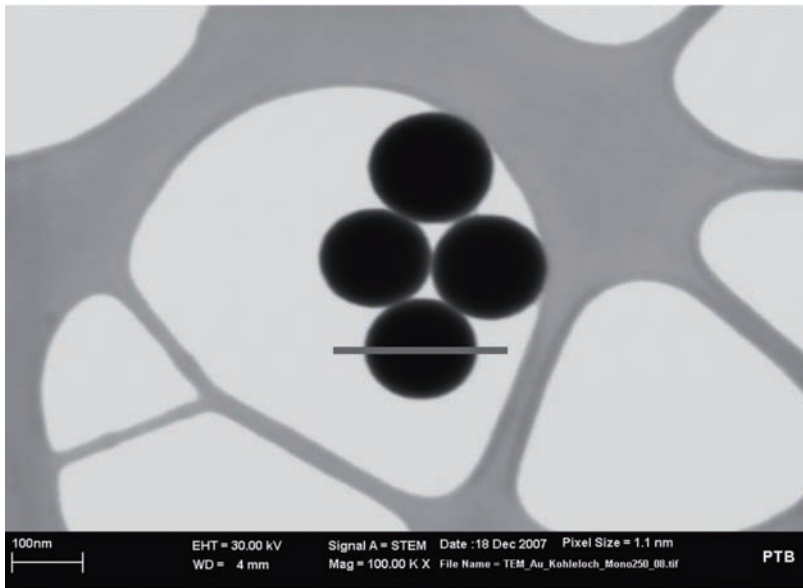


Bild 2:  
Transmissionselektronenmikroskopische Hellfeldaufnahme von Silica-Kugeln auf einem Kohle-Loch-Film.

### JRP 1.4 New traceability routes for nanometrology (NANOTRACE)

Das Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung von optischen Interferometern mit Messunsicherheiten von 10 pm. Das Konsortium mit sieben Partnern unter Koordination des italienischen Institutes INRIM versucht dieses Ziel durch Optimierung der Elektronik zur Messung der Interferenzphase, durch neue optische Interferometer-Anordnungen oder durch Kombination mit einem kapazitiven Sensor zur Detektion der Nichtlinearität zu erreichen. Es werden dabei verschiedene Anordnungen parallel aufgebaut und getestet. Elektroniken sowohl auf Basis des Homodynprinzips als auch des Heterodynprinzips werden entwickelt. Eine optische Anordnung zur Vermeidung von Nichtlinearitäten im Heterodynterferometer durch getrennte Strahlzuführung wird ebenso erprobt wie mehrfach gefaltete Interferometerstrahlengänge sowie ein Fabry-Perot-Interferometer.

Als Referenz zur Verifikation der Leistungsfähigkeit der Entwicklungen wird ein Röntgen-Verschiebeinterferometer eingesetzt. Dieses wurde in einem von der EU geförderten Projekt gemeinsam von INRIM, NPL und PTB aufgebaut und wird in diesem Projekt mit moderner Röntgenoptik optimiert. Als Maßstab dient das Gitter eines Silizium-Einkristalls, das von Röntgenstrahlen abgetastet wird und somit intrinsisch eine sehr kleine Signalperiode besitzt. Die Leistungsfähigkeit der entwickelten optischen Interferometer wird schließlich in Referenz zum Röntgen-Verschiebeinterferometer geprüft.

Als Beispiel für die Leistungsfähigkeit einer in der PTB entwickelten Heterodynelektronik sind in Bild 3 die Ergebnisse der Phasenmessung über 50 Stunden an einem als Testaufbau genutzten Mach-Zehnder Interferometer mit einer Bandbreite von 125 Hz gezeigt.

### JRP 2.2: Metrology for new industrial measurement technologies (NIMTech)

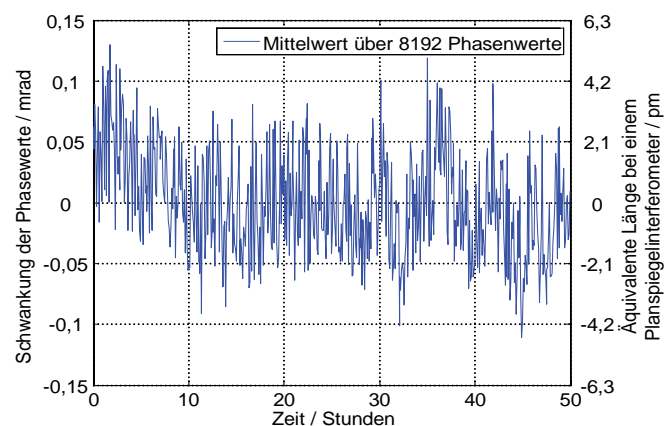
Das JRP NIMTech verfolgt im Wesentlichen zwei Ziele:

- die Rückführung komplexer geometrischer Strukturen von 0,5 m bis zu mehreren zehn Metern Abmessung unter Verwendung von Laserscannern, Indoor-GPS und hochgenauen Laserinterferometern
- die online-Validierung mathematischer Auswertelgorithmen von Koordinatenmesssystemen.

Zur Sicherstellung der Rückführung neuartiger Messsysteme, wie z. B. von Laserscannern, Indoor-GPS oder hochgenauen Laserinterferometern wird insbesondere untersucht, wie diese transportablen Systeme eingesetzt werden können, um vor Ort große Strukturen bis zu mehreren zehn Metern flexibel messen zu können. Des Weiteren wird u. a. ein Messsystem zur erstmaligen hochgenauen dreidimensionalen Kalibrierung großer Objekte bis zu  $6 \times 6 \times 6 \text{ m}^3$  entwickelt. Das Messsystem besteht aus vier hoch-



Bild 3:  
Zur Phasenmessung genutzter 100 MHz 16 Bit Analog-Digital-Wandler und Stabilität der Phasenmessung über 50 Stunden



genauen selbstnachführenden Lasertracern. Um diese neuartigen Systeme metrologisch rückzuführen, werden neue Prüfkörper entwickelt, wie z. B. Normale mit einer Freiformoberfläche, ein Verzahnungsnormale mit einem Durchmesser von einem Meter sowie ein Evolventennormale mit wellenbehafteter Oberfläche. Eine Pilotanwendung wird u. a. die Kalibrierung des großen Zahnradnormals unter Labor- sowie Produktionsumgebungen mittels der selbstnachführenden Lasertracer sein.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung mathematischer Auswerteverfahren wird auch der Frage nachgegangen, wie die Auswertesoftware von Koordinatenmesssystemen zuverlässig auf Richtigkeit der Berechnungsergebnisse geprüft werden kann. Dazu werden Grundlagen erarbeitet, um mittels geprüfter Testdaten, die weltweit über einen Internet-Dienst abgerufen werden können, geometrische Auswertelgorithmen automatisch zu prüfen.

Mit dem Projekt NIMTech soll erreicht werden, dass in der Koordinatenmesstechnik die messtechnische Rückführung auch für die kommende Generation von Mess- und Auswerteverfahren mit Hilfe neuartiger verkörperter und numerischer Normale garantiert werden kann. Die Koordination der fünf Partner des JRP's wird von der PTB wahrgenommen.

### JRP 3.1 Novel techniques for absolute long range distance measurements in air (Long Range)

Die Anforderungen an die Genauigkeit der Längenmessung in bestimmten Bereichen der industriellen Fertigung von Großanlagen, z. B. im Flugzeug- oder Windkraftanlagenbau, oder auch in der Geoüberwachung, z. B. in erdbebengefährdeten Regionen, nehmen weiter zu. Diese Anforderungen können aktuelle Messmethoden, z. B. Lasertracker, elektronische oder auch GPS-basierte Distanzmesser oftmals nur unzureichend erfüllen. Weiterhin erfordert die extrem zeitaufwändige Kalibrierung dieser Instrumente stabilste äußere Bedingungen.

Das JRP 3.1 befasst sich deshalb mit der Entwicklung von rückführbaren Längenmessmethoden für Längen bis zu 1 km. Dabei wird die Verbesserung der relativen Messunsicherheit auf  $1 \cdot 10^{-7}$  mit modernen optischen Methoden, u. a. interferometrischer Mehrwellenlängenmessung, fs-laserbasierter Laufzeitmessung und einer in-situ-Kompensation der Brechzahl angestrebt. Das JRP 3.1 besteht aus einem Konsortium von acht europäischen Metrologieinstituten mit dem LNE-INM als Koordinator.



Bild 4:  
600-m-Pfeilerstrecke am Nordgelände der PTB.

Der an der PTB verfolgte Ansatz der fs-Laufzeitmessung ist bereits erfolgreich bis 100 m mit einer Messunsicherheit von  $1 \cdot 10^{-7}$  unter Laborbedingungen demonstriert worden. Die Verfahren zur Mehrwellenlängen-Interferometrie und zur Feuchtemessung werden zur Zeit noch auf kürzeren Strecken untersucht. Im nächsten Schritt werden die Instrumente auf der PTB-eigenen 600-m-Pfeilerstrecke (siehe Bild 4) unter Freiluftbedingungen getestet. Abschließend werden die im Konsortium entwickelten Methoden auf einer kalibrierten Pfeilerstrecke in Innsbruck verglichen.

Eine leistungsfähige messtechnische Infrastruktur ist wesentliche Grundlage moderner Industriegesellschaften. Um auch künftigen messtechnischen Anforderungen begegnen zu können, ist metrologische Forschung unverzichtbar. Die Entwicklung neuer Methoden und verbesserter Verfahren für die Rückführung dimensioneller Messgrößen in einem weiten Anwendungsbereich – von der Nanotechnologie bis hin zur Geodäsie – steht deshalb im Vordergrund des Targetprogramms „Dimensionelle Metrologie“. Die nationalen Metrologieinstitute bringen hier ihre spezifischen Kompetenzen in die gemeinsamen Forschungsprojekte ein, zur Stärkung der europäischen Metrologie und damit zum Nutzen für Europa.

# Das Targetprogramm „Metrologie für die Gesundheit“ in iMERA-plus

Hans Koch<sup>1</sup>

## Hintergrund

„Gesundheit“ führt die Liste der Schwerpunktthemen des 7. Rahmenprogramms der EU an und gilt entsprechend als eines der wichtigsten Zukunftsfelder europäischer Forschungs- und Entwicklungspolitik, sowohl in Hinblick auf die Gesellschaft als auch auf die europäische Industrie. Entsprechend war es ein konsequenter Schritt, die Metrologie für die Gesundheit als eine der großen Herausforderungen zukünftiger Schwerpunktsetzungen für die europäischen Metrologieinstitute (NMI) zu identifizieren. Dieses nicht etwa, weil das Thema gerade in Mode ist, sondern weil offensichtlich geworden ist, dass die Lebenswissenschaften, die Medizin und die Medizintechnikindustrie dringend eine metrologische Fundierung benötigen, die über traditionelle Konzepte hinausreicht.

Während für die traditionellen Disziplinen der Metrologie eine über Jahrzehnte gewachsene und bewährte europäische Struktur in Form von EURAMET und dessen technischen Komitees existiert, ergab sich in der Phase der Formulierung des EMRP (European Metrology Research Programme) die Notwendigkeit, für die neuen Querschnittsthemen äquivalente Netzwerkstrukturen aufzubauen. Dies geschah durch Bildung einer Fokusgruppe „Metrologie für die Lebenswissenschaften“, in der die relevanten Expertisen der europäischen NMIs gebündelt und Roadmaps entwickelt wurden. Zusätzlich wurde ein „Stakeholder Workshop“ organisiert, um den Bedarf an metrologischer Unterstützung aus den Bereichen Politik, Industrie, klinischer Praxis und gesellschaftlichen Anforderungen zu ermitteln und einzuordnen. Nicht überraschend stellte sich heraus, dass der Bedarf extrem vielfältig und schwer einzuordnen ist. Eine umfassende Berücksichtigung der komplexen Anforderungen ist mit den gegebenen Ressourcen der NMIs und auch des laufenden Programms nicht zu bewältigen. Daher kamen nur Projektvorschläge zur Auswahl, bei denen komplementäre Expertisen mehrerer NMIs attraktiv kombiniert werden konnten und zu erwarten war, dass für konkrete metrologische Herausforderungen mit

Hilfe des Programms wichtige Beiträge für die medizinische Diagnostik, Therapie und Früherkennung erzielt werden können, von denen die Patienten, mit anderen Worten wir alle, profitieren.

## Rahmenbedingungen und Herausforderungen

Metrologie für die Gesundheit unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von traditionellen metrologischen Herangehensweisen: Das Messobjekt ist letztendlich der Mensch. Selbst wenn – z. B. in der klinischen Chemie – Labormessungen durchgeführt werden, das Resultat und die daraus abgeleiteten Konsequenzen wirken sich unmittelbar auf einen Menschen aus. Entsprechend müssen ethische Gesichtspunkte und Verantwortlichkeiten besonders ernst genommen werden. Man darf nicht alles messen, was messbar ist.

Weiterhin ist die oberste Maxime auf diesem Gebiet der Metrologie nicht Präzisionsmessung bis hinein in messtechnische Grenzbereiche. Vielmehr steht im Vordergrund das – im buchstäblichen Sinne – „vitale“ Ziel, Vergleichbarkeit von Messungen zu gewährleisten.

In diesem Geiste sind oft neu entwickelte Referenzmessverfahren relevanter als der Wert einzelner physikalischer Messgrößen. Beispielsweise ist es beim Elektrokardiogramm-Signal (EKG) nicht essentiell, hochpräzise Spannung und Zeit zu bestimmen, sondern die Messsignale so zu analysieren, dass ein vergleichbares Ergebnis als EKG-Diagnose ermittelt wird.

Es gibt – glücklicherweise – keinen Standardmenschen, daher muss ein „Normal“ in der Metrologie für die Lebenswissenschaften die Aspekte der enormen Biovariabilität, der Nichtwiederholbarkeit und geringen Reproduzierbarkeit von Messungen, der unscharfen Definitionen (was ist physiologisch, was pathologisch) und andere Dinge mehr berücksichtigen. Oft sind nur indirekte, nicht-invasive Messungen möglich, die von vielen unkontrollierbaren Einflussgrößen und unbekanntem Parametern begleitet sind.

<sup>1</sup> Prof. Dr. Hans Koch  
Leiter der Abteilung  
„Medizinphysik und  
metrologische Informationstechnik“ der PTB  
E-Mail:  
hans.koch@ptb.de

An der Metrologie für die Gesundheit sind häufig die unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen beteiligt, die sonst selten miteinander kommunizieren. Diese inhärente Diversität wurde in den eingereichten Projektvorschlägen deutlich. F&E-Themen spannten sich auf von Thermometrie, Kernspinresonanz, Laseranwendungen, ionisierender Strahlung, Ultraschall bis zu Chemie und Biochemie; die medizinischen Kategorien von „Homecare“, Diagnostik, Therapie, regenerativer Medizin, klinischer Forschung bis zu „Proteomics“. Krankheitsbilder waren u. a. Herz-Kreislauf-Probleme, Krebs, dazu kamen Aspekte einer alternden Gesellschaft. Es ging um Einzelmolekülnachweis, große Maschinen und virtuelle Menschen.

Die bewilligte Auswahl an Projekten ist demgegenüber schon deutlich eingeschränkt und kann daher nur als Etablierung erster Schritte für eine zunehmend breitere Rolle einer zukünftigen, europäisch vernetzten Metrologie für die Gesundheit gelten.

Es folgt ein Abriss der Verbundprojekte des „Targeted Programme Health“.

#### **Atemgasanalyse als diagnostisches Werkzeug für die Früherkennung von Krankheiten**

In diesem Projekt soll die Methode der Laserabsorptionsspektroskopie im Hinblick auf ihr Potential zur verlässlichen Früherkennung diverser Krankheitsbilder untersucht werden. Insbesondere sollen die Nachweisgrenzen und Messunsicherheiten verbessert werden. Für die beteiligten NMIs steht dabei die Bereitstellung metrologisch fundierter Referenzmessungen im Vordergrund. Es soll so eine metrologische Basis für spektrometrisch arbeitende Atemdiagnoseinstrumente geliefert werden. Unterthemen sind die Präparation von Referenzgasmischungen, Linienstärkenmessungen und die Untersuchung des Einflusses von Interferenzen, insbesondere von Feuchtigkeit und CO<sub>2</sub>. Ausgehend von anspruchsvollen Messaufbauten nach dem Stand der Technik sollen Bezugspunkte geliefert werden, die für Geräte in der Breite einsetzbar sind.

#### **Verbesserung der Wirksamkeit von Krebsbehandlungen mittels 3D-Brachytherapien**

Ziele dieses Projektes sind einerseits die Entwicklung neuer Rückführungsketten zu Primärnormalen für die von Bestrahlungsquellen absorbierte Dosis der Brachytherapien und andererseits die Erarbeitung von Beiträgen zum besseren Verständnis dreidimensionaler Dosisverteilungen in Patienten. Letztendlich soll eine Unsicherheit von < 5 % für die Bestimmung der absorbierten Dosis im Zielvolumen erreicht werden, um das Optimum an therapeutischer Wirkung einerseits und Patientensicherheit andererseits gewährleisten zu können.

#### **Metrologie für die Krebstherapie mit Strahlen**

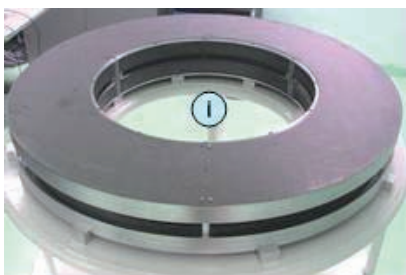
Dieses Projekt zeichnet sich dadurch aus, dass zwei gänzlich verschiedene Strahltherapien auf der Grundlage von ionisierender Strahlung (Elektronen, Protonen, Schwerionen) einerseits und von intensivem Ultraschall andererseits metrologisch miteinander in Beziehung gesetzt werden. Der Reiz dieses Ansatzes ist das Zusammenführen zweier metrologischer Kulturen, die sich gegenseitig befruchten können.

Während für die Ultraschalltherapien viele grundsätzliche Fragen, wie z. B. Temperaturverteilungen und Kavitationserscheinungen, messtechnisch erschlossen werden müssen, geht es bei der Tomotherapie darum, die deponierte Dosis genauer zu bestimmen und vor allen Dingen die Rückführung der Dosimetrie für diese Anwendung zu sichern.

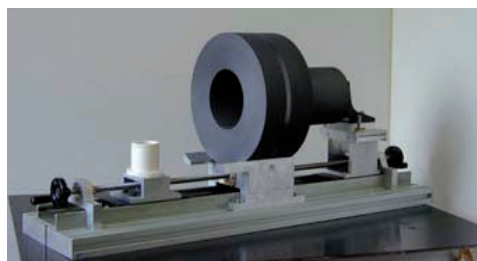
#### **Rückführung komplexer diagnostischer Biomoleküle und Biomarker**

In der klinischen Chemie werden in rapide zunehmendem Umfang diverse Biomarker eingesetzt, häufig sind dies hochkomplexe Biomoleküle. Auf diesem Gebiet die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, ist eine äußerst anspruchsvolle Herausforderung, die in diesem Vorhaben methodisch aufbauend angegangen wird. Der Bezug zu existierenden Standards liefert oft unzureichende und methodenabhängige

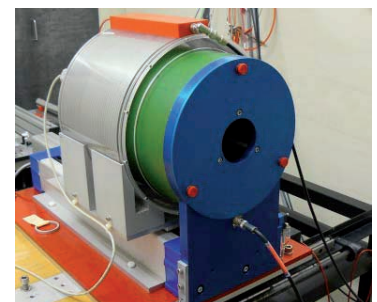
Bild 1:  
Neuentwicklungen dreier Primärnormale zur Bestimmung der absorbierten Dosis von Brachytherapiestrahlungsquellen



LNE-LNHB (Paris)



INMRI-ENEA (Rom)



PTB (Braunschweig)

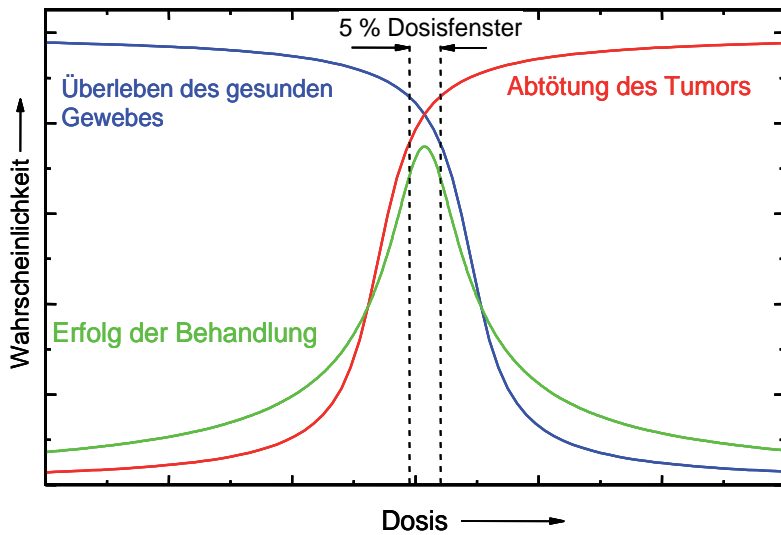


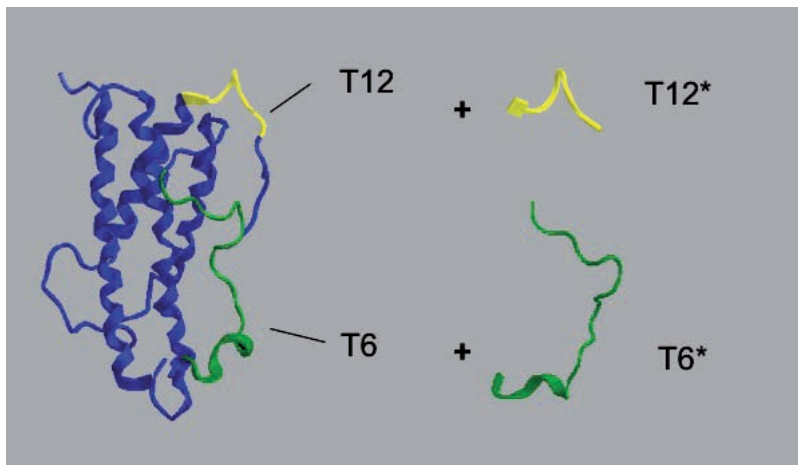
Bild 2:  
Die Genauigkeit der Bestimmung des „Dosisfensters“ entscheidet buchstäblich über Leben und Tod!

Resultate. Ein wesentlicher Schritt ist die Verknüpfung des derzeitigen WHO-Systems der „internationalen Einheiten“ mit dem grundlegenden SI-System mit Hilfe metrologisch fundierter, physikalisch-chemischer Techniken, z. B. massenspektrometrischer Isotopen-Verhältnismessungen, zur Bestimmung der Einheit „Stoffmenge“.

**Rückführbare Messergebnisse der klinischen Chemie für Biospezies und Ionenaktivität**

Die Quantifizierung von Elementkonzentrationen in Blutserum gehörten zu den häufigsten Untersuchungen der klinischen Chemie. International anerkannte Referenzmessverfahren für die Rückführung solcher Messungen existieren für die Bestimmung der Gesamtgehalte der wichtigsten Elemente. Zunehmend wichtig ist zusätzlich die Bestimmung der Stoffmenge der klinisch aktiven Form eines Elements. Herauszuhebende Beispiele sind z. B. Selenpezies, die in Kombination mit Chemotherapien die Wirksamkeit von Krebsbehandlungen verbessern. Ein Ziel des Projekts ist die Quantifizierung der wichtigen Spezies in den sehr engen, klinisch wirksamen Konzentrationsbereichen.

Bild 3:  
Quantifizierung komplexer Biomoleküle (hier als Beispiel das menschliche Wachstumshormon) anhand charakteristischer Bruchstücke (Peptide T6, T12). Isotopenmarkierte Peptide dienen als interne Standards (T6\*, T12\*). Ziel ist die Quantifizierung des Gesamtgehalts sowie der klinisch aktiven Formen solcher Moleküle in Serum. (Bild nach PDB ID: 1GNH)



In ähnlicher Weise sind es manchmal nur die ionisierten Formen eines Analyten, die wirksam sind. Hier werden im Projekt z. B. Methoden zur Rückführbarkeit von ionisiertem Calcium entwickelt. Gerade bei Schwerstkranken ist die Messung des ionischen Calciums von entscheidender Bedeutung.

**Metrologie für die Regenerative Medizin**

Große Hoffnungen und Erwartungen werden derzeit in die Entwicklung neuer Behandlungsmöglichkeiten von Verletzungen oder bestimmten Erkrankungen durch künstlich hergestellte zelluläre oder gewebeartige Transplantate gesetzt. Trotz erheblicher Forschungsanstrengungen und dabei erzielter beachtlicher Erfolge konnte jedoch das Potential dieser viel versprechenden Ansätze für eine personalisierte medizinische Versorgung bislang nur in geringem Maße und nur langsam umgesetzt werden. Dieses liegt ganz wesentlich auch daran, dass es keine international akzeptierten messtechnischen Verfahren, Vorgehensweisen und Standards für Qualitäts- und Sicherheitskontrollen von Produkten der regenerativen Medizin gibt. Die Projektziele zu diesem Thema sind dementsprechend darauf ausgerichtet, exemplarisch Wege aufzuzeigen, wie diese Lücken geschlossen werden können. Schwerpunkte der Arbeiten sind die Entwicklung durchflusszytometrischer Messverfahren zur Charakterisierung, Zählung und Anreicherung von Stammzellen aus peripherem Blut sowie die Entwicklung von quantitativen fluoreszenzmikroskopischen 3D-Bildgebungsverfahren zur Charakterisierung und Kontrolle von Zellen auf Oberflächen und Stützgerüsten zur Züchtung von künstlichem Gewebe.

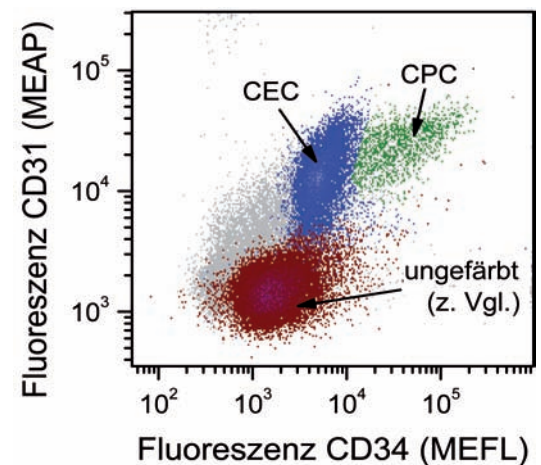


Bild 4:  
Durchflusszytometrische Differenzierung und Zählung von Fluoreszenz-markierten determinierten Stammzellen. CPC: circulating progenitor cells; CEC: circulating endothelial cells; MEFL: molecules of equivalent fluorescein; MEAP: molecules of equivalent allophycocyanin.

# Das Targetprogramm „SI und Naturkonstanten“ im iMERA-plus-Rahmen

Wolfgang Buck<sup>1</sup>

Als es vor etwas mehr als 200 Jahren im Geiste des Gleichheitsideals der Französischen Revolution um die Einführung gleicher Maße unter dem Motto „für alle Völker, für alle Zeiten“ ging, griff man auf „Maßstäbe“ zurück, die man damals für die stabilsten hielt: auf den Erdumfang bzw. einen Quadranten davon für die Länge und auf ein daraus abgeleitetes Volumen des am weitesten verbreiteten „Elements“, des Wassers, für die Masse. Um diese Maßstäbe dauerhaft zu machen, wurden sie in Platin gegossen. Man glaubte, durch diese die bisherige alltägliche Lebenswelt überschreitende Basis ein universelles und ewig geltendes Einheitensystem geschaffen zu haben.

Heute erleben wir eine ähnlich revolutionäre Entwicklung in der Metrologie, nachdem sich der Erdumfang verglichen mit den heutigen Messmöglichkeiten als instabil erwiesen hat und der bis dato noch das Kilogramm verkörpernde Prototyp aus Platin-Iridium als veränderlich verdächtigt wird. Damit stellte sich erneut die Frage nach dem Unveränderlichsten, was uns nunmehr heute zur Verfügung steht, um es als künftige „Maßstäbe“ zu verwenden. Nach heutigem Kenntnistand sind dies die sogenannten Naturkonstanten, Größen wie die Elementarladung, das Plancksche Wirkungsquantum oder die Lichtgeschwindigkeit, bei denen bisher weder eine zeitliche Veränderung noch eine Ortsabhängigkeit nachzuweisen war. So ist die Sekunde seit 1967 als ein bestimmtes Vielfaches der Periodendauer der Strahlung eines Hyperfeinstrukturübergangs im <sup>133</sup>Cs-Atom definiert und basiert damit auf der Stabilität von atomaren Energieniveaus und ihrer Differenz. Seit 1983 ist das Meter als die Strecke definiert, die das Licht während einer zum Wert der Lichtgeschwindigkeit reziproken Zeit im Vakuum zurücklegt. Dafür musste sowohl der Caesium-Übergangsfrequenz als auch der Lichtgeschwindigkeit jeweils ein exakter Zahlenwert zugeordnet werden, der, weil als Maßstab verwendet, prinzipiell keine Unsicherheit besitzt. Dieses hier erprobte Konzept, durch die Festlegung eines exakten Zahlenwerts für eine einschlägige Naturkonstante die Basiseinheiten des SI-Systems neu zu definieren,

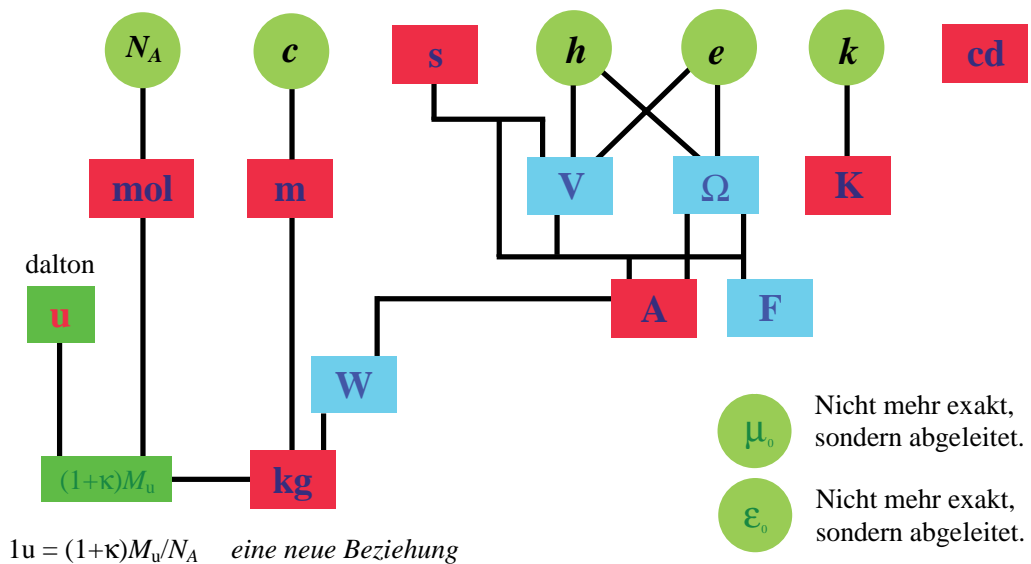
wird zur Zeit für das Kilogramm, das Ampere, das Kelvin und das Mol in einer weltweiten Anstrengung verfolgt. Man verspricht sich davon durch die Unabhängigkeit von Artefakten oder von Eigenschaften bestimmter Substanzen eine unübertroffene Langzeitstabilität und Universalität der Grundlagen des Maßsystems.

Eine Neudefinition der physikalischen Einheiten, insbesondere der Basiseinheiten, muss allerdings so erfolgen, dass zum Zeitpunkt der Einführung des neuen Systems Messungen oder Kalibrierungen in beiden Systemen zu denselben Ergebnissen führen, da sonst aufwendige Umrechnungen oder Umkalibrierungen unvermeidbar wären, die weltweit immense Kosten verursachen würden. Daraus folgt, dass man den Zahlenwert der für die Neudefinition verwendeten Naturkonstanten zunächst im alten System so genau wie möglich bestimmen muss, bevor man ihn für das neue System festlegt. Genau diesem Ziel dienen sechs im Rahmen des Targetprogramms „SI und Naturkonstanten“ von iMERA-plus geförderte Joint Research Projects (JRPs). Der derzeitige Fahrplan sieht vor, dass im Jahre 2011 auf der nächsten Generalkonferenz der Meterkonvention (CGPM) die neuen Definitionen in Kraft gesetzt werden können. Da die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Bestimmung der Werte der Naturkonstanten aber die oberste Priorität hat, um Nachbesserungen und die damit verbundenen Kosten zu vermeiden, könnte es auch zu einer Verzögerung bis zur nächsten CGPM im Jahre 2015 kommen.

Der derzeit diskutierten Vorschlag für ein neues SI-System ist in Bild 1 dargestellt und läuft darauf hinaus, die Werte von fünf Naturkonstanten, nämlich von Avogadrozahl  $N_A$ , Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  $c$ , Planckscher Konstante  $h$ , Elementarladung  $e$  und Boltzmann-Konstante  $k$  festzulegen und damit die Basiseinheiten Mol, kg, A und K neu zu definieren. Dabei würde die Sekunde weiterhin an einem atomaren Übergang festgemacht bleiben und die Candela ggf. auf eine Leistungsmessung zurückgeführt werden. In letzter Konsequenz sind alle Einheiten, die aus diesen fünf festgelegten Konstanten abgeleitet werden, gleichrangig. Aus

<sup>1</sup> Dr. Wolfgang Buck, Leiter der Abteilung „Temperatur und Synchrotronstrahlung“ der PTB  
E-Mail: wolfgang.buck@ptb.de

Bild 1:  
Zusammenhang zwischen den fünf zur Festlegung vorgeschlagenen Naturkonstanten und den daraus neu definierten Basiseinheiten



Courtesy of Barry Wood, NRC, 2007

historischen Gründen ist jedoch entschieden worden, die Begriffe „Basiseinheit“ und „abgeleitete Einheit“ beizubehalten.

Das Targetprogramm „SI und Naturkonstanten“ fördert den europäischen Beitrag zu diesem weltweit angelegten Vorhaben. Es ist mit Mitteln von ca. 23,5 Mio. € ausgestattet, die zu einem Drittel von der Europäischen Union finanziert werden, und damit das größte der vier Targetprogramme von iMERA-plus. Der Personaleinsatz beläuft sich auf insgesamt ca. 1900 Personenmonate. Die Mittel verteilen sich auf die sechs geförderten JRPs in einer Bandbreite von 3 Mio. € bis 6 Mio. €. Insgesamt kooperieren Metrologie-Institute aus 13 europäischen Ländern, unterstützt von einer Reihe von Universitäten und Forschungseinrichtungen. Die PTB beteiligt sich im Mittel mit 38 % des Programmolumens an fünf der sechs JRPs und koordiniert – wie Italien und Frankreich – zwei von ihnen.

Die Neudefinition des Kilogramms spielt eine zentrale Rolle bei der anstehenden Neugestaltung des Einheitensystems. Das spiegelt sich in der Tatsache wider, dass dafür zwei JRPs gefördert werden. Das eine, das JRP „Avogadro and molar Planck constants for the redefinition of the kilogram“ (NAH), wählt den Weg über den Bezug zur Masse des  $^{12}\text{C}$ -Atoms. Um dies zu erreichen, wird die Masse eines einzelnen  $^{28}\text{Si}$ -Atoms, die in einem einfachen Verhältnis zu  $^{12}\text{C}$  steht, durch den Bezug zum derzeitigen Kilogrammprototyp bestimmt und anschließend die Anzahl von  $^{28}\text{Si}$ -Atomen in einer Kilogramm-Kugel ermittelt. Die Avogadro-Zahl erhält man über die Bragg-Beziehung  $N_{\text{A}} = 8M \cdot V_{\text{sph}} / (m_{\text{sph}} \cdot a^3)$ , wobei  $M$  die molare Masse des Siliziums der verwendeten Kugel,  $V_{\text{sph}}$  und  $m_{\text{sph}}$  das Volumen bzw. die Masse der Siliziumkugel und  $a$  den Gitterparameter bedeuten.

Voraussetzung für die Bestimmung der molaren Masse ist eine Isotopenanreicherung in der Kugel von besser als 99,99 % des  $^{28}\text{Si}$ -Isotops. Dieser Nachweis lässt sich derzeit nur mit dem speziellen Avogadro-Gas-Massenspektrometer des europäischen Institutes for Reference Materials and Measurements (IRMM) erreichen. Das Kugelvolumen wird über den Radius mit der Genauigkeit eines Atomdurchmessers ermittelt. Die Kugelmasse wird mit der Masse des bisherigen Kilogrammprototyps aus Platin verglichen. Die Dicke der Oberflächenschicht aus  $\text{SiO}_2$ , die man wegen ihrer vom Si-Wert abweichenden Dichte kennen muss, wird mit spektraler Ellipsometrie und Röntgenreflektometrie gemessen. Den Gitterparameter schließlich erhält man aus einer kombinierten Methode aus Röntgen- und optischer Interferometrie. Parallel wird in einem Arbeitspaket des JRP die Bestimmung der molaren Planck-Konstante  $N_{\text{A}} \cdot h$  verfolgt. Hierbei ermittelt man den Massendefekt bei dem einem Neutroneneinfang folgenden  $\gamma$ -Zerfall mit der Compton-Frequenz  $\nu_c$  nach der Planck-Einstein-Beziehung  $N_{\text{A}} \cdot h = \Delta Mc^2 / \nu_c$ . Dies dient der Überprüfung der Atomzählmethode, die wegen der experimentellen Herausforderungen bei einzelnen Schritten auf Kontrollmessungen verzichten muss. So strebt man eine relative Gesamtunsicherheit von annähernd  $10^{-8}$  an. Mit dem zweiten JRP „The watt balance route towards a new definition of the kilogram“ (e-MASS) wird ein alternativer Weg zur Neudefinition des Kilogramms gefördert, an dem die PTB aber nicht beteiligt ist, da sie keine Watt-Waage aufgebaut hat. Kurz gefasst ist die Wattwaage ein Kraftkomparator, bei dem in einem ersten Schritt die Gewichtskraft eines Massennormal durch die Gegenkraft eines magnetischen Spulenfeldes kompensiert wird. Im zweiten Schritt wird die

Spule im selben Magnetfeld mit einer bekannten Geschwindigkeit bewegt und die induzierte Spannung bestimmt. Unter der Annahme der Äquivalenz von elektrischer und mechanischer Energie erhält man eine Beziehung zwischen der Masse des verwendeten Normal und der Planck-Konstante. Das NIST (USA) hat eine solche Watt-Waage seit einigen Jahren in Betrieb, das NPL (UK) hat den Betrieb seiner Watt-Waage eingestellt, eine weitere ist am BIPM im Aufbau. In Europa bauen nun METAS (CH) und LNE (FR) im Rahmen dieses JRP neue Experimente auf, um die amerikanischen Ergebnisse prüfen zu können. Vorläufige Ergebnisse zeigen für die Zahlenwerte der Planck-Konstanten, die durch die Watt-Waage des NIST und die Avogadro-Methode ermittelt wurden, Übereinstimmung. Dies muss jedoch noch verifiziert werden.

Das JRP „Redefinition of the base unit ampere“ (REUNIAM) ist das umfangreichste im Targetprogramm „SI und Naturkonstanten“ und wird von der PTB koordiniert. Das Projekt hat zwei Ziele, nämlich die durch die 1990 eingeführten Josephson-Spannungs- und Quanten-Hall-Widerstandsnormale verursachte Abkoppelung der elektrischen Einheiten vom SI-System zu überwinden und gleichzeitig die wissenschaftliche Basis für die verwendeten Spannungs- und Widerstandsnormale zu schaffen. Zum letzteren gehört die Schließung des sogenannten quantenmetrologischen Dreiecks durch den Aufbau eines Quanten-Stromnormals, das auf dem Transport von einzeln gezählten elektrischen Ladungen beruht und so den unmittelbaren Zusammenhang von Ampere und Elementarladung  $e$  verkörpert. Nach heutigem Verständnis der physikalischen Grundlagen müsste das Produkt  $P_{\text{QMT}} = K_J \cdot R_K \cdot Q_x$ , wobei  $K_J$  die Josephson-Konstante,  $R_K$  die von-Klitzing-Konstante und  $Q_x$  die gepumpte Ladung bedeuten, genau den Wert 2 ergeben. Abweichungen davon wären ein Hinweis auf unbekannte physikalische Effekte. Ein Schwerpunkt des Projekts

liegt auf der Forcierung der Entwicklung von Schaltungen für den Einzelladungstransport, um damit „hohe“ Ströme von ca. 200 pA bei einer Pumpfrequenz von 1 GHz realisieren können. Damit soll das quantenmetrologische Dreieck mit einer Unsicherheit von  $3 \cdot 10^{-7}$  auf direktem Wege geschlossen werden. In einem alternativen Ansatz, der einem indirekten Schließen des quantenmetrologischen Dreiecks entspricht, wird der Strom des Quantennormals zur Aufladung eines Kondensators benutzt, der an den Quanten-Hall-Effekt angeschlossen ist.

An der Neudefinition des Kelvin wird im JRP „Determination of the Boltzmann constant for the redefinition of the kelvin“ (Boltzmann constant) gearbeitet. Hierbei geht es darum, einen 1988 vom NIST publizierten Wert der Gaskonstante  $R$  ( $k = R/N_A$ ), der mit akustischer Thermometrie gewonnen wurde, mit anderen Methoden zu überprüfen. Das von der PTB koordinierte Projekt fördert daher den Aufbau eines Dielektrizitätskonstanten-Gasthermometers (DCGT) und mehrerer Dopplerverbreiterungsthermometer (DBT) sowie verbesserter akustischer Gasthermometer (AGT) mit dem Ziel einer Unsicherheit von  $10^{-6}$ . Alle diese Verfahren bestimmen die thermische Energie von Gasteilchen am bisherigen Definitionspunkt des Kelvin, dem Tripelpunkt des Wassers, entweder durch die Messung der druckabhängigen Dielektrizitätskonstanten, der Verbreiterung einer molekularen Absorptionslinie durch den Dopplereffekt oder der Schallgeschwindigkeit. Andere prinzipiell in Frage kommende Methoden wie die Messung des elektrischen Rauschens eines Widerstands oder des emittierten Lichts eines Hohlraumstrahlers können die angestrebte Unsicherheit offenbar nicht erreichen.

Zwei weitere JRPs greifen über die derzeit anstehenden Neudefinitionen von Basiseinheiten hinaus. Das JRP „Optical clocks for a new definition of the second“ (OCS) strebt eine Verringe-

# VACUUM

precision made in germany






77 K up to 100°C • Up to UHV • Custom design



Phone: + 49 7634 50 57 - 0 | [www.micos.ws](http://www.micos.ws)



rung der relativen Unsicherheit der Zeitmessung in den Bereich von  $10^{-17}$  an. Im Gegensatz zu Systemen mit einzelnen Atomen oder Ionen, die bereits an einer Reihe von Metrologie-Instituten untersucht werden, steht hier das Prinzip der optischen Gitter-Uhr im Fokus, bei der viele kalte Strontium-Atome in gitterförmig angeordneten Potentialtöpfen eingeschlossen sind, die durch interferierende Laserfelder erzeugt werden. Hauptuntersuchungsziele sind dabei die Einflüsse von verbleibenden Störgrößen wie der Verschiebung der Übergangsfrequenz zum Beispiel durch Hohlraumstrahlung der umgebenden Kammer, durch den Einschluss der Atome im Gitter, durch trotz Abkühlung verbleibende Stöße der Atome untereinander und durch das Rauschen des abfragenden Lasers. Somit ergibt sich ein breites Aufgabenspektrum zur Verbesserung vieler Teilsysteme dieser anspruchsvollen Anordnung auf dem Wege zur Quantengrenze der Frequenzstabilität. Außer der Verbesserung der Zeitmessung und der Möglichkeit einer künftig verbesserten Definition der Sekunde durch die Nutzung von optischen Frequenzen erhält man auch die Möglichkeit, durch Vergleich mehrerer Gitteruhren die Langzeitstabilität der Naturkonstanten zu prüfen. Der Nachweis von deren zeitlicher Veränderlichkeit würde zwangsläufig eine neue Philosophie für das Einheitensystem erfordern.

Das JRP „Candela: Towards quantum-based photon standards“ (qu-Candela) will eine Brücke schlagen zwischen makroskopischen Größen wie der optischen Strahlungsleistung einerseits und der Quantenwelt von einzeln erzeugten und

nachgewiesenen Photonen andererseits. Anders ausgedrückt soll die Lücke zwischen konventioneller Radiometrie und Photometrie und moderner Quantenmetrologie geschlossen werden. Dazu wird ein neuartiger Silizium-Photonendetektor mit berechenbarer Nachweismempfindlichkeit auf einem Unsicherheitsniveau von  $10^{-6}$  oder besser entwickelt. Die Validierung seiner Leistungsfähigkeit wird experimentell durch Vergleiche mit ebenfalls verbesserten konventionellen Kryoradiometern auf einem Leistungsniveau von  $100 \mu\text{W}$  durchgeführt. Über einen Photonen-Avalanche-Detektor wird über Anpassung in den Überlappbereichen die Kette bis zu einem Einzelphotonen zählenden Detektor gespannt, der Photonenflüsse von 1 bis 1000 Photonen pro Sekunde registrieren kann. Für diesen riesigen Bereich von Photonenflüssen müssen auch die entsprechenden Strahlungsquellen von hochstabilen Lasern bis zu Einzelphotonenquellen entwickelt und bereitgestellt werden. In welcher Form die Ergebnisse dieses JRP in eine konkrete Neudefinition der Candela einfließen werden, ist noch Gegenstand der Diskussion.

Das Targetprogramm „SI und Naturkonstanten“ leistet einen entscheidenden Beitrag zur Abstützung eines neuen Einheitensystems auf die als unveränderlich betrachteten Grundlagen der Physik, verschiebt dazu die Grenzen der experimentellen Methoden weit über den gegenwärtigen Status hinaus und verschafft der europäischen Metrologie bei den metrologischen Grundlagen eine weltweit herausgehobene Position.

# Weiterentwicklung der nationalen und regionalen metrologischen Infrastruktur in Europa

Arnold Leitner<sup>1</sup>, Wolfgang Schmid<sup>2</sup>, Leslie Pendrill<sup>3</sup>

## 1 Einleitung

Die Metrologie, die Wissenschaft vom Messen und ihre Anwendung, spielt eine Schlüsselrolle in der Industrie, im internationalen Handel und im täglichen Leben. Sie erstreckt sich über sehr weit gefächerte Anwendungsgebiete und umfasst Bereiche wie Forschung und Entwicklung, Industrie, Handel, Gesundheitswesen, Arbeits- und Umweltschutz, Sicherheits- und Verkehrswesen.

Mit Hilfe von Messungen werden Waren und Dienstleistungen zahlenmäßig beschrieben. Genaue und zuverlässige Messungen sind entscheidend für die Sicherung der Produktqualität und zur Unterstützung in Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsfragen. Ein präzises Maß- und Gewichtssystem ist eine wichtige Vorbedingung für weltweite Wirtschaftsbeziehungen und fairen Handel, zur Qualitätskontrolle, zur Sicherung der Lebensqualität sowie zum Schutz der Konsumenten.

Aber nicht nur die Qualität der Messungen, auch deren internationale Anerkennung spielt eine entscheidende Rolle. Im Handel mit Gütern werden 80 % durch Normen und Vorschriften beeinflusst. Die Kosten für Messungen und Bewertungen auf Konformität mit festgelegten Anforderungen werden auf 10 % der Produktionskosten geschätzt. Werden diese Messungen beim grenzüberschreitenden Handel nicht anerkannt, so ergeben sich durch die dadurch erforderliche Wiederholung der Messungen zusätzliche Kosten für die Exporteure und damit gravierende Nachteile für die Wettbewerbsfähigkeit.

Aufgabe der metrologischen Infrastruktur ist es, die messtechnische Basis (Messnormale) bereit zu stellen, metrologische Dienstleistungen mit der erforderlichen Qualität anzubieten sowie für die internationale Anerkennung von Messnormalen und Dienstleistungen zu sorgen. An der Spitze der nationalen metrologischen Infrastruktur stehen die nationalen Metrologieinstitute (NMIs), die diese Aufgaben entsprechend den jeweiligen nationalen Bedürfnissen von Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft wahrnehmen. Im Zeitalter der Globalisierung

der Wirtschaft und der damit einhergehenden internationalen Harmonisierung auch auf dem Gebiet der Metrologie spielen natürlich die regionalen und globalen Organisationen, in denen die NMIs zusammenarbeiten, eine immer größere Rolle. Die regionalen Organisationen haben sich nach im wesentlichen wirtschaftlichen und politischen Vorgaben gebildet: Europäische Union, Asien-Pazifische Wirtschaftskooperation, Nordamerikanische Freihandelszone, etc. führten zur Gründung von EUROMET/ EURAMET, APMP, SIM, COOMET und in jüngster Zeit zu AFRIMETS. Die Meterkonvention, ein Staatsvertrag, bildet das Forum für die weltweite Kooperation und gewährleistet die internationale Infrastruktur.

EURAMET, die regionale Metrologie-Organisation (RMO) Europas, seine Gründung und seine Aufgaben wurde in den vorangegangenen Artikeln bereits eingehend beschrieben. Die koordinierte europäische Metrologie-Forschung im Rahmen des EMRP [1] stellt eine spannende Aufgabe und große Herausforderung für EURAMET dar, die von einer breiten Öffentlichkeit aufmerksam beobachtet wird. Spitzenforschung in der Metrologie macht aber nur dann Sinn, wenn ihre Ergebnisse in praktische Anwendungen umgesetzt werden können. Europäisch organisierte Forschung muss das Ziel haben, den Aufbau einer europäischen Metrologie-Infrastruktur voran zu bringen. Dies kann wiederum nur dann erfolgreich sein, wenn in allen Ländern eine solide Basisinfrastruktur besteht. In vielen Ländern Europas befindet sich diese Infrastruktur erst im Aufbau. EURAMET sieht es daher als eine seiner Kernaufgaben an, komplementär zum EMRP den Aufbau von metrologischer Infrastruktur zu begleiten und zu fördern und eine über die Grenzen reichende Harmonisierung und Koordinierung zu unterstützen.

Die künftige Entwicklung von EURAMET, sowohl in der Forschung als auch bei den anderen Aktivitäten, wird einen Prozess der europäischen Integration der nationalen Metrologie-Programme fortsetzen. Wie in der Vision der Kommission hinsichtlich der „European

<sup>1</sup> Dr. Arnold Leitner, EURAMET Vice-Chairperson (GA), Leiter der Gruppe Eichwesen des BEV, Österreich  
E-Mail: arnold.leitner@bev.gv.at

<sup>2</sup> Dr. Wolfgang Schmid, EURAMET Secretary  
E-Mail: wolfgang.schmid@euramet.org

<sup>3</sup> Prof. Dr. Leslie Pendrill, EURAMET Chairperson, Forschungsleiter SP Messtechnik, Schweden  
E-Mail: leslie.pendrill@sp.se

Research Area“ wird europäischer Mehrwert dort angestrebt, wo

- die „kritische Masse“ eines bestimmten Projektes (finanzielle und Human-Ressourcen) die Möglichkeiten eines einzelnen Landes übersteigt
- die komplementären nationalen Fähigkeiten kombiniert werden, besonders bei interdisziplinären Problemstellungen
- eine grenzübergreifende Art von Problemen gegeben ist (z. B. im Umweltschutz).

Das gesetzliche Messwesen ist ebenfalls ein wesentliches Element der metrologischen Infrastruktur. Dieser Aspekt der Metrologie wird jedoch im Rahmen dieses Beitrages nur gestreift, da eine detaillierte Erörterung den durch das Schwerpunktthema vorgegebenen Rahmen sprengen würde.

## 2 Das nationale Messwesen und die Rolle der nationalen Metrologieinstitute

Das nationale Messwesen ist die technische Infrastruktur, die genaue und zuverlässige, dem Zweck in einem Land entsprechende und international anerkannte Messungen ermöglicht. Ein umfassendes nationales Messwesen umfasst verschiedene Verantwortungsbereiche:

- Bereithaltung der Normale zur Darstellung der Maßeinheiten sowie deren Weiterentwicklung, um künftigen Bedürfnissen gerecht zu werden
- Kalibrierungen und Prüfungen
- Wissens- und Technologietransfer auf dem Gebiet der Metrologie
- gesetzliches Messwesen
- Laborakkreditierung
- einschlägige Normen.

Ein wesentliches und unverzichtbares Element des nationalen Messwesens ist das nationale Metrologieinstitut (NMI). Ein NMI ist die Institution, die aufgrund einer nationalen Entscheidung verantwortlich ist für die Bereithaltung und Entwicklung der nationalen Normale entsprechend dem nationalen Bedarf, für die Gewährleistung international anerkannter Rückverfolgbarkeit (Rückführung) auf das SI sowie für die Bereitstellung metrologischer Dienstleistungen wie Kalibrierungen auf höchster Ebene, Beratung, Ausbildung und sonstige einschlägige Unterstützung [2].

Prinzipiell gibt es verschiedene Optionen für Organisation und Betrieb von NMIs:

- ein einzelnes NMI für alle Aspekte der Metrologie (wissenschaftliches, industrielles, gesetzliches Messwesen)
- ein NMI verantwortlich für die Bereithaltung der Normale (Primär- oder Sekundärnorma-

le) mit einer separaten Institution für das gesetzliche Messwesen

- ein führendes NMI, das von einem oder mehreren beauftragten Instituten unterstützt wird, die in jenen metrologischen Bereichen für die Bereithaltung der Normale und die damit zusammenhängenden Dienstleistungen verantwortlich sind, die vom NMI nicht abgedeckt werden
- zwei oder mehr gleichrangige NMIs.

Durch die wachsende Bedeutung der Metrologie in Bereichen wie Chemie, Biotechnologie, Gesundheitswesen, Umweltschutz und Ernährungssicherheit, aber auch durch die steigenden Anforderungen in den traditionellen Bereichen hinsichtlich größerer Messbereiche und kleinerer Messunsicherheiten [3] wird es für ein einzelnes NMI immer schwieriger, alle metrologischen Anforderungen des Landes abzudecken. Das hat zur Folge, dass sich auch die NMIs großer Staaten gezwungen sehen, die Verantwortlichkeit für gewisse nationale Normale an andere kompetente Institutionen abzugeben. Dabei ist eine Duplizierung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten unbedingt zu vermeiden. Es muss klargestellt sein, für welche Größen und Messbereiche das beauftragte Institut verantwortlich ist.

Eine besondere Herausforderung besteht dabei in dem zunehmenden multidisziplinären Charakter der Metrologie. Dies wird unter anderem daran ersichtlich, dass die Struktur des EMRP zusätzlich zu den traditionellen Messgrößen auch horizontale Programme berücksichtigt, welche die aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen widerspiegeln, wie beispielsweise die Unterstützung der Metrologie für Gesundheitswesen, Umweltschutz, Energie und neue Technologien. Selbst manche NMIs passen ihre Organisationsstruktur diesem Trend an. Wenn man beispielsweise den medizinischen Sektor betrachtet, wird ersichtlich, dass Rückführbarkeit nicht nur für „chemische Messgrößen“ wie Konzentration von Substanzen oder für biologische Größen benötigt wird. Auch Messungen in traditionellen Bereichen wie ionisierende Strahlung, Ultraschall, Durchfluss, Elektrizität und viele andere mehr sind erforderlich und müssen hierbei zum Teil ganz neuen spezifischen Anforderungen genügen. Insbesondere in dem Fall, dass die nationale Metrologie-Infrastruktur aus einem Netzwerk von NMI und mehreren beauftragten Instituten besteht, stellt dies besondere Herausforderungen an die Koordinierung und Aufgabenabgrenzung zwischen den einzelnen Instituten.

Um die Aufgaben eines NMIs (und sinngemäß eines beauftragten Institutes) auf höchstem Niveau erfüllen zu können, sind eine Reihe von

Aktivitäten erforderlich. Dazu gehören die Bereithaltung und Weiterentwicklung der nationalen Normale, die Weitergabe der SI-Einheiten an akkreditierte Laboratorien und andere Nutzer, die Gewährleistung der Rückverfolgbarkeit der Normale für das gesetzliche Messwesen, die Durchführung von Vergleichsmessungen, die Implementierung eines QM-Systems, die Koordination der Aktivitäten von beauftragten Instituten, die Zusammenarbeit mit anderen NMIs, regionalen und internationalen Organisationen, Training und Beratung von Kunden, die Zusammenarbeit mit Akkreditierung und Normung.

Bedingt durch die Ausweitung auf neue Gebiete und die Anwendung neuer Technologien steigen auch die Anforderungen im gesetzlichen Messwesen beträchtlich. Daher ist es höchst empfehlenswert, Synergien zwischen dem wissenschaftlichen und dem gesetzlichen Messwesen zu entwickeln, entweder indem beide Bereiche in einem Institut angesiedelt sind oder zumindest durch enge Zusammenarbeit. Insbesondere in kleineren Ländern kann die Vereinigung beider Aktivitäten in einem Institut dazu beitragen, die kritische Minimalgröße zu erreichen, eine bessere Nutzung der Ressourcen zu ermöglichen und eine kohärente Metrologiepolitik zu erleichtern. In jedem Fall wird das NMI normalerweise die Rückverfolgbarkeit für die zuständigen Stellen des gesetzlichen Messwesens sicherstellen.

Ein NMI sollte hinsichtlich technischer Kompetenz und Messnormale auch die nationale Referenz für die akkreditierten Kalibrierlaboratorien sein. Das erfordert enge Zusammenarbeit mit der nationalen Akkreditierungsstelle. Gute Praxis ist es, Experten des NMIs als technische Auditoren im Akkreditierungsverfahren einzusetzen. Auch hinsichtlich der Durchführung von Vergleichsmessungen für Kalibrierlaboratorien gibt es häufig eine enge Zusammenarbeit zwischen NMI und nationaler Akkreditierungsstelle. Die akkreditierten Kalibrierlaboratorien stellen die Brücke zwischen den nationalen Normalen und den vielen Nutzern der Kalibrierdienstleistungen dar. Wenn ähnliche Kalibrierdienstleistungen sowohl vom NMI als auch von Kalibrierlaboratorien angeboten werden, ist darauf zu achten, dass kein unfairer Wettbewerb begründet wird. Einige NMIs (wie z. B. auch die PTB) verweisen Kunden an Kalibrierlaboratorien, wenn diese die geforderte Messunsicherheit anbieten können. „High-End“-Kalibrierungen sowie der Transfer der zugehörigen Expertise werden immer Aufgabe des NMIs bleiben.

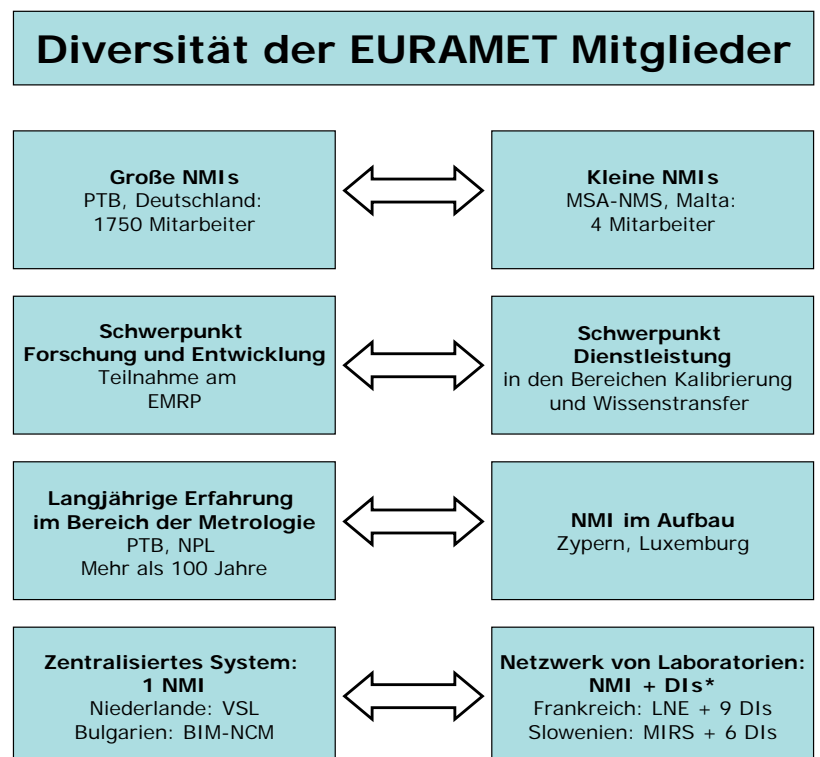
Verbindungen zwischen NMI und akkreditierten Kalibrierlaboratorien sind in zweierlei Hinsicht wichtig: Einerseits sollen sie die effiziente Weitergabe des SI sicherstellen, andererseits soll die Kommunikation mit den Laboratorien dazu beitragen, die aktuellen Bedürfnisse von Industrie und Gesellschaft hinsichtlich qualitätsgesicherter Messungen zu erkennen.

Eines der wichtigsten Mittel zur Verbesserung von Innovation ist wahrscheinlich der Transfer von metrologischem Wissen, wobei Metrologen als Mittler zwischen den Fortschritten der Wissenschaft und innovativen Unternehmen fungieren. Neben traditionellen Trainingskursen sollte vermehrtes Augenmerk auf die Möglichkeiten von Ausbildung und Wissenstransfer in Zusammenarbeit zwischen Universitäten und NMIs gerichtet werden.

### 3 EURAMET und die metrologische Infrastruktur in Europa

Regionale Metrologie-Organisationen sind die Foren für die Zusammenarbeit der nationalen Metrologie. Der steigende Bedarf der Gesellschaft nach rückverfolgbaren Messungen erfordert als Antwort die Zusammenarbeit der NMIs und designierten Institute auf all ihren Aufgabenbereichen, von der metrologischen Forschung bis zur Bereitstellung der Dienstleistungen. Zu den Zielen von RMOs gehören die Koordination der metrologischen Infrastruktur in der Region, die Sicherstellung der Rückverfolgbarkeit für diejenigen NMIs, die für die jeweilige Messgröße keine Primärnormale besitzen, die Organisation von regionalen Vergleichsmessungen, Zusammenarbeit hinsichtlich metrologischer Forschung und Entwicklung, Ausbildung und

Bild 1:  
Diversität der EURAMET-Mitglieder



\*DI = Designated Institute (Beauftragte Institute)

Wissenstransfer sowie bei der Implementierung und Evaluierung von QM-Systemen [4].

EURAMET umfasst 33 NMIs als Mitglieder sowie das IRMM der Europäischen Kommission, vier Beitrittswerber und 69 beauftragte Stellen als assoziierte Mitglieder [5]. Die Diversität der EURAMET-Mitglieder hinsichtlich Größe, Schwerpunkt der Aktivitäten, Erfahrung und Organisationsform könnte größer nicht sein (siehe Bild 1). Die Spannweite reicht von 4 Beschäftigten (MSA-NMS, Malta) bis zu 1750 (PTB, Deutschland) und von mehr als 100jähriger Erfahrung bis zu „im Aufbau begriffen“ (Zypern, Luxemburg). Eine wichtige künftige Aufgabe von EURAMET ist es sicherzustellen, dass alle NMIs, sowohl große als auch kleine, von der Kooperation Nutzen ziehen.

Eine besondere Herausforderung für EURAMET ist die Unterstützung der sich in Entwicklung befindlichen Mitgliedsinstitute bei der Etablierung einer angemessenen und effizienten nationalen metrologischen Infrastruktur, die schließlich zu anerkannten Kalibrier- und Messkapazitäten (CMC) im Rahmen des CIPM MRA [6] führt. Erfahrungsaustausch und gemeinsame Aktivitäten sollen diesen Prozess erleichtern und die Effektivität verbessern. EURAMET hat einen Leitfaden entwickelt, der beschreibt, wie eine nationale metrologische Infrastruktur aussehen sollte oder könnte und was EURAMET von seinen Mitgliedern erwartet. Die südosteuropäischen NMIs haben mit dieser Zusammenarbeit bei der Entwicklung begonnen, unterstützt vom Fachbereich „Technische Zusammenarbeit“ der PTB. Zu den Aktivitäten zählten Ausbildungsseminare und Workshops, Vergleichsmessungen und gemeinsame QM-Audits. Da man erkannte, dass alle Mitglieder von einer derartigen Zusammenarbeit profitieren könnten, wurde im Sommer 2008 eine Fokusgruppe „Facilitating National Metrology Infrastructure Development“ gegründet [7]. Der Schwerpunkt der Zusammenarbeit ist nach wie vor Südosteuropa, aber die Teilnehmer kommen aus allen Teilen Europas.

Die Ziele der Fokusgruppe werden in den „Terms of Reference“ wie folgt definiert:

- Förderung und Entwicklung der metrologischen Infrastruktur in den Ländern ihrer Mitglieder durch verstärkte Kooperation, um eine Konzentration und effiziente Nutzung der Kompetenzen und Ressourcen zu erreichen und Synergien zu nutzen
- Erleichterung und Beschleunigung der Einbindung ihrer Mitglieder in EURAMET-Aktivitäten
- Bewusstseinsbildung hinsichtlich der Entwicklung von Metrologie und Qualitätsinfrastruktur in den Ländern der Mitglieder.

Das Hauptinstrument zur Entwicklung von Strategien und die Planung von Aktivitäten ist die jährliche Tagung der Kontaktpersonen der teilnehmenden NMIs. Ein Bereich der EURAMET-Internetseite wurde außerdem als Kommunikations- und Planungsforum eingerichtet.

Wichtige Elemente einer erfolgreichen und nachhaltigen Zusammenarbeit in der Fokusgruppe sind:

- **Zentrale Koordinierung:** Dies fördert die Entwicklung von Konzepten, die mit der EURAMET-Strategie in Einklang stehen und auf Nachhaltigkeit ausgerichtet sind. Außerdem wird die Begleitung und Nachbereitung der geplanten und laufenden Aktivitäten sichergestellt.
- **Integration und aktive Beteiligung aller Mitglieder an den Aktivitäten der Fokusgruppe:** Die teilnehmenden NMIs können prinzipiell Empfänger oder Geber von Unterstützung sein. Ziel ist jedoch, dass alle in beiden Rollen aktiv sind, um dadurch zu erreichen, dass sich alle als Prozesseigner fühlen. Das hilft, Probleme zu entdecken und zu analysieren und auf die tatsächlichen Bedürfnisse der Länder einzugehen, anstatt die Vorstellungen der Geber einfach durchzusetzen. Auf diese Weise wird echte Partnerschaft und die Nachhaltigkeit der Aktivitäten gefördert.
- **Finanzielle und fachliche Unterstützung durch den Fachbereich „Technische Zusammenarbeit“ der PTB:** Die finanziellen Ressourcen der meisten teilnehmenden NMIs sind auf den Routinebetrieb ausgerichtet und limitiert. Für „Extra“-Aktivitäten wie Training, Beratung, Entwicklung neuer Laboratorien oder Teilnahme an internationalen und regionalen Aktivitäten stehen im Allgemeinen wenig Mittel zur Verfügung. Da EURAMET im Moment über kein Budget für Entwicklungsaktivitäten verfügt, ist eine Drittmittelfinanzierung entscheidend. Der Fachbereich „Technische Zusammenarbeit“ der PTB hat langjährige Erfahrung in der Entwicklungszusammenarbeit, teils mit erheblicher finanzieller Unterstützung durch das deutsche Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). Die im Vergleich zu anderen Projektträgern geringe Bürokratie sichert eine flexible und sehr effiziente Unterstützung der Aktivitäten der Fokusgruppe. Darüber hinaus verfügt der Fachbereich über einen großen Pool von Beratern für Fachgebiete im weiteren Umfeld der Metrologie, für die EURAMET selbst keine Experten stellen kann.

Die Aktivitäten der Fokusgruppe umfassen folgende Gebiete:

- **Training:**  
Auf Initiative verschiedener Mitglieder werden regionale Trainingskurse auf verschiedenen Fachgebieten der Metrologie organisiert, aber auch in den Querschnittsbereichen des gesetzlichen Messwesens, des Qualitätsmanagements und der Ausbildung von Auditoren für die Akkreditierung von Laboratorien. Die Teilnahme von Metrologen verschiedener NMIs trägt zum gegenseitigen Verständnis bei und erzeugt eine grenzübergreifende Gemeinschaft.
- **Vergleichsmessungen:**  
Die erfolgreiche Teilnahme an Vergleichsmessungen ist ein wesentliches Kriterium für die internationale Anerkennung der nationalen Normale und der Kalibrier- und Messmöglichkeiten. Da einige Mitglieder der Fokusgruppe wenig Erfahrung mit Vergleichsmessungen haben, werden diese in einem zweistufigen Ansatz durchgeführt. Zuerst wird ein Training für die weniger erfahrenen NMIs angeboten, bestehend aus Workshops und einer Übungsvergleichsmessung. In einem zweiten Schritt werden dann „echte“ Vergleichsmessungen in Übereinstimmung mit international anerkannten Protokollen durchgeführt.
- **Koordinierung von Metrologie-Dienstleistungen:**  
Speziell kleinere Volkswirtschaften haben nicht ausreichend Ressourcen, um mit nationalen Normalen und Dienstleistungen alle von Industrie und anderen Nutzern geforderten Fachgebiete abdecken zu können. Eine Lösung könnte verstärkte regionale Kooperation sein, mit dem Ziel, Vereinbarungen über gemeinsame Nutzung von Einrichtungen und gegenseitige Unterstützung bei Kalibrierdienstleistungen abzuschließen.
- **Bewusstseinschärfung und gemeinsame Vernetzung:**  
Mangel an Wahrnehmung der Bedeutung einer soliden nationalen Qualitätsinfrastruktur ist ein häufiges Phänomen, speziell in sich entwickelnden Volkswirtschaften. Daraus resultiert dann unzureichende wirtschaftliche, politische und logistische Unterstützung der NMIs. Erfahrungsaustausch und gemeinsame Erarbeitung von Material zur Sensibilisierung auf Regierungsebene oder Veranstaltungen mit anerkannten internationalen Experten sind die Instrumente zur Verbesserung dieser Situation.
- **„Peer visits“ der Qualitätssysteme:**  
Ein funktionierendes und evaluiertes QM-System ist neben Vergleichsmessungen ein weiteres wesentliches Element zur internatio-

nen Anerkennung der Kalibrier- und Messmöglichkeiten im Rahmen des CIPM-MRA. Die Verantwortung für die Evaluierung der QM-Systeme liegt in den Händen der regionalen Metrologie-Organisation. Als effizientes Instrument für den Erfahrungsaustausch zur Verbesserung der QM-Systeme und für den Aufbau gegenseitigen Vertrauens hat sich die Durchführung von internen Audits mit externer Beteiligung erwiesen. Begonnen im Rahmen der Zusammenarbeit der deutschsprachigen Länder „D-A-CH“ (Deutschland, Österreich, Schweiz) wird dieses Modell mittlerweile in anderen Regionen und auch zwischen Mitgliedern der Fokusgruppe angewendet.

Die Arbeit der Fokusgruppe zeigt, dass die Aktivitäten von EURAMET hinsichtlich der Entwicklung der metrologischen Infrastruktur eine wichtige Ergänzung zu anderen Aktivitäten wie Forschung und CIPM-MRA darstellen. An der Entwicklung neuer Messmethoden, z. B. im Rahmen des EMRP, sind überwiegend die hoch entwickelten NMIs beteiligt. Das Wissen muss jedoch der gesamten europäischen Metrologie-Gemeinschaft zur Verfügung gestellt werden. Die Fokusgruppe ist das ideale Instrument, um Wissenstransfer in Übereinstimmung mit den EURAMET-Zielen zu konzipieren und aufzubauen.

Die Zusammenarbeit in der Fokusgruppe gibt auch ein wichtiges politisches Signal an die Regierungen der aufkommenden europäischen Länder und an die Europäische Kommission. Sie unterstreicht die große Bedeutung, die EURAMET der Entwicklung einer effizienten und nachhaltigen metrologischen Infrastruktur in ganz Europa beimisst. Als Nebeneffekt stärkt es die Sichtbarkeit von EURAMET sowohl intern als auch gegenüber den Interessensgruppen. EURAMET positioniert sich damit als wichtiger Partner in allen Metrologie-Angelegenheiten bei der Entwicklung einer ausgeglichenen europäischen Qualitätsinfrastruktur.

#### 4 Die internationale Infrastruktur und das CIPM-MRA

Globale Ökonomien erfordern globale Metrologie. Aus diesem Grund unterzeichneten bereits 1875 die führenden Industriestaaten dieser Zeit die „Internationale Meter-Convention“ als Staatsvertrag. Ziel war die internationale Einführung und die dauernde wissenschaftliche Überwachung eines einheitlichen Systems von Maßeinheiten, des dezimalen metrischen Systems, das sich inzwischen zum Internationalen Einheitensystem SI weiterentwickelt hat. Die Meterkonvention ist somit keine einmalige Willensäußerung ihrer Mitgliedsländer, sondern eine ständig

arbeitende Organisation mit dem Ziel der Anpassung des SI an den jeweiligen Stand der Wissenschaft und an die Bedürfnisse von Handel, Industrie und Gesellschaft.

1955 wurde auch auf dem Gebiet des gesetzlichen Messwesens ein Staatsvertrag unterzeichnet, der die OIML (Internationale Organisation für das gesetzliche Messwesen) begründete. Zweck ist die globale Harmonisierung der Verfahren im gesetzlichen Messwesen. Die OIML erarbeitet mit ihrer technischen Struktur metrologische Richtlinien, die als Grundlage dienen für die Ausarbeitung von nationalen und regionalen (z. B. EU) Anforderungen für die Einführung und Verwendung von Messgeräten im gesetzlichen Messwesen.

Die Trennung der Metrologie in zwei unabhängige globale Organisationen wird von Außenstehenden und auch von Staaten, in denen die metrologische Infrastruktur noch im Aufbau ist, nicht immer ganz verstanden. Die Grenzen zwischen wissenschaftlichem und gesetzlichem Messwesen sind auch immer weniger klar zu ziehen: Bereiche wie Gesundheitswesen, Umweltschutz, Ernährungssicherheit werden zunehmend gesetzlich geregelt, aber die klassischen Konzepte des gesetzlichen Messwesens wie Zulassungsprüfung und Eichung von Messgeräten sind immer weniger anwendbar. Stattdessen müssen Referenzmethoden und Referenzmaterialien entwickelt werden, um die Einhaltung von gesetzlich festgelegten Grenzwerten rückverfolgbar überprüfen zu können. So wurden letztlich als Folge der europäischen Richtlinie für In-Vitro-Diagnostik ein gemeinsames Komitee (JCTLM) und eine Datenbank für die Rückverfolgbarkeit in der Labormedizin und In-Vitro-Diagnostik beim BIPM eingerichtet, die OIML ist bei diesen Aktivitäten kaum involviert.

In letzter Zeit hat sich eine engere Zusammenarbeit zwischen BIPM und OIML etabliert. Auch ein gemeinsames Webportal wurde eingerichtet: [www.metrologyinfo.org](http://www.metrologyinfo.org). Darüber hinaus werden Diskussionen über ein noch näheres Zusammenrücken bis hin zu einer möglichen Verschmelzung geführt.

Im Rahmen der zunehmenden Globalisierung steigt die Notwendigkeit der internationalen Anerkennung von nationalen Normalen und der Kalibrier- und Messkapazitäten (CMC) von NMIs [8]. Als Antwort darauf wurde vom Internationalen Komitee für Maße und Gewichte (CIPM), dem Expertengremium der Meterkonvention, ein Verfahren zur wechselseitigen Überprüfung und Anerkennung der nationalen Normale und der damit verbundenen CMCs entwickelt. Dieses als „CIPM MRA“ bekannte Abkommen trat 1999 in Kraft [6].

Die RMOs haben eine Schlüsselfunktion in der Umsetzung des Begutachtungsverfahrens des CIPM MRAs inne, welches aus drei Komponenten besteht:

- 1) eine Plausibilitätsüberprüfung der CMC-Listen der teilnehmenden NMIs
- 2) die erfolgreiche Teilnahme der NMIs an internationalen oder regionalen Vergleichsmessungen, welche die CMCs stützen
- 3) eine wechselseitige Überprüfung der Qualitätsmanagementsysteme der NMIs.

## 5 Herausforderungen und künftige Entwicklungen

Angesichts der geografischen und strukturellen Situation in Europa stellt sich die Frage, ob weiterhin wirklich in jedem Land ein eigenes NMI erforderlich ist. Das Projekt MERA [9] (finanziell von der EU unterstützt) hat verschiedene Szenarien für die künftige europäische Metrologie-Infrastruktur untersucht:

- A. Jedes NMI bietet ein möglichst großes Spektrum an Dienstleistungen auf Basis von Primärnormalen an
- B. jedes NMI bietet ein möglichst großes Spektrum an Dienstleistungen an, überwiegend Sekundärnormale, nur ausgewählte Primärnormale
- C. NMIs bilden spezialisierte Exzellenzzentren; Dienstleistungen werden nur auf diesen Gebieten angeboten, für andere Gebiete werden andere NMIs herangezogen
- D. ein zentrales europäisches Metrologie-Institut wird aufgebaut.

Eine Befragung der Interessengruppen ergab eindeutig, dass Modell D abgelehnt wird, eine Mischung aus B und C wurde als beste Wahl angesehen. Prinzipiell wurde die lokale Erbringung von Dienstleistungen und Bereitstellung von Expertise als sehr wichtig beurteilt.

Durch die Tendenz sinkender Ressourcen bei steigenden Anforderungen an die Metrologie (das „Metrologie-Dilemma“) werden Rationalisierung und Spezialisierung gemäß Modell C immer wichtiger werden, und zwar auch für die größeren NMIs.

Ein Ergebnis in diese Richtung, dessen Entwicklung durch das Projekt MERA ausgelöst wurde, ist eine koordinierte Vorgehensweise bei der metrologischen Forschung und Entwicklung: Das europäische Metrologie-Forschungsprogramm EMRP hat hier eine neue Ära eingeleitet. Darüber wird an anderer Stelle dieses Heftes ausführlich berichtet. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, festzuhalten, dass „primäre Metrologie“ weder jetzt noch in Zukunft auf die großen europäischen Länder eingeschränkt sein soll. In Übereinstimmung mit dem Prinzip der Subsidiarität soll jedes einzelne Land frei sein,

nationale metrologische Kompetenz aufrecht zu erhalten, sofern es das Bedürfnis verspürt und es sich leisten kann, grundlegende metrologische Forschung zu betreiben (wenn auch häufig in internationaler Zusammenarbeit). Länder grundsätzlich auf die Dienstleistungen von NMIs anderer (üblicherweise größerer) Länder zu verweisen, kann aus Sicht vieler Betroffener und Interessenvertreter nur ein dürftiger Ersatz für die Erhaltung der eigenen metrologischen Kompetenz sein, hinsichtlich sowohl nationalen Wissenstransfers als auch internationaler Kooperation. Trotz der zunehmenden europäischen Unterstützung der Metrologie wird es daher erforderlich sein, dass auch in Zukunft die einzelnen Länder ihre eigenen nationalen Metrologie-Programme unterstützen. Modell C bietet in diesem Zusammenhang die beste Chance, dass auch kleinere Länder ihre Rolle in der „Spitzenmetrologie“ einnehmen.

Die Erbringung der metrologischen Dienstleistungen wird jedoch einer besseren, engeren und strategisch geplanten Koordination bedürfen, nicht nur für die aufkommenden NMIs, wie als Aktivität der Fokusgruppe geplant, sondern ganz allgemein. Spezialisierung und Abgabe von Dienstleistungen ist ein Modell, dem sich auch die größeren NMIs auf Grund von Ressourcen-zwängen werden nähern müssen.

Grundlage für eine Prioritätensetzung werden nationale Analysen sein, die alle Aspekte wie politische Erfordernisse, nationale Bedürfnisse, Praktikabilität etc. untersuchen. Darüber hinaus gilt es dann aber europäische Perspektiven zu beachten, nämlich dass es eine koordinierte Verteilung von Exzellenzzentren und Dienstleistungsanbietern mit einer gewissen Redundanz geben wird. Auf jeden Fall muss vermieden werden, dass gewisse Dienstleistungen überhaupt nicht mehr angeboten werden, weil in keinem Land ein dringendes nationales Bedürfnis besteht. Dies ist sicher eine der Herausforderungen für die künftige Entwicklung in Europa, die nach der Koordinierung von Forschung und Entwicklung eines besonderen Impulses bedarf. Als Forum dafür besitzt EURAMET das Technische Komitee für „Interdisziplinäre Metrologie“.

Ein weiterer Problembereich sind die aus dem CIPM-MRA erwachsenden Aufgaben. Sie stellen für EURAMET eine zunehmende Arbeitsbelastung dar. Die Evaluierung und Evidenzhaltung der QM-Systeme im Rahmen des Technischen Komitees „Quality“ stößt durch die steigende Zahl von beauftragten Stellen, welche zusätzlich zu den NMIs nationale Normale unterhalten und am CIPM MRA teilnehmen können, an die Grenzen der Machbarkeit. Ebenso wird die Durchführung von Vergleichsmessungen durch die steigende Zahl der Teilnehmer eine

immer größer werdende Herausforderung für die Pilotlaboratorien. In manchen Fachgebieten wird es immer schwieriger, Freiwillige für die Rolle als Pilotlabor zu finden. Kleinere NMIs sehen sich zuweilen schon aus Ressourcengründen dazu außerstande. Ob die finanzielle Abgeltung der Arbeit als Pilotlabor (wie in einem der technischen Komitees bereits erwogen) die Lösung dieser Problematik darstellt, wird in den EURAMET-Gremien noch zu erörtern sein.

Die Durchführung und Finanzierung von Maßnahmen zu Aufbau und Weiterentwicklung der metrologischen Infrastruktur harren ebenfalls noch einer dringenden Verbesserung. Einerseits werden von der Europäischen Kommission im Rahmen des Instruments für Heranführungshilfe (IPA) und anderen Maßnahmen einschlägige Projekte ausgeschrieben und finanziert, an denen sich von Fall zu Fall das eine oder andere NMI in einem Konsortium beteiligt. Gelegentlich gibt es dann Kritik der Empfängerländer, dass ihnen im Rahmen dieser Projekte Dinge aufgepfropft werden, die nicht wirklich ihren Bedürfnissen entsprechen.

Andererseits versucht die EURAMET-Fokusgruppe „Facilitating National Metrology Infrastructure Development“ eine optimierte Vorgehensweise bei der Entwicklung der Infrastruktur unter Einbeziehung der Empfänger und Eingehen auf deren tatsächliche Bedürfnisse. Als einzige nachhaltige Finanzierungsquelle tritt aber hier (wie auch bei Projekten auf der ganzen Welt) mit erheblicher finanzieller Unterstützung durch das BMZ der Fachbereich „Technische Zusammenarbeit“ der PTB auf. Hier besteht Optimierungsbedarf. Dabei ist sicher auch ganz generell die Rolle von EURAMET gegenüber der Europäischen Kommission neu zu definieren und zu regeln.

Ein weiteres Thema ist die Zusammenarbeit mit WELMEC (European Cooperation in Legal Metrology), in der die Behörden des gesetzlichen Messwesens Europas zusammenarbeiten. Wie schon in Abschnitt 4 ausgeführt, sind die Grenzen zwischen gesetzlichem Messwesen einerseits und wissenschaftlichem und industriellem Messwesen andererseits immer schwieriger wahrzunehmen. Gesetzliche Regelungen, in denen auch metrologische Aspekte berührt werden (z. B. Grenzwerte und rückverfolgbare Messungen), erfordern zunehmend die Entwicklung neuer Normale: Normale für die europäische Gesetzgebung heißt hier das Motto. Dies erfordert das Zusammenrücken von EURAMET und WELMEC, ebenso wie auf globaler Ebene von BIPM und OIML. Bei den Aktivitäten der EURAMET-Fokusgruppe hat sich gezeigt, dass insbesondere bei den Beitrittswerbfern nicht streng zwischen diesen Bereichen unterschieden wird.



### Zusammenfassung

EURAMET wird auch in Zukunft sicher mehrere der bereits in den 1980er Jahren formulierten Ziele der ursprünglichen Vereinigung der nationalen Metrologieinstitute verfolgen[10].

Der Erfolg in der Entwicklung von EURAMET wird in den kommenden Jahren nicht nur davon abhängen, wie gut sich jedes seiner Hauptarbeitsgebiete entwickelt, sondern auch, wie gut die Resultate eines bestimmten Arbeitsgebietes zu anderen beitragen und mit ihnen wechselwirken. Neben der Verbesserung von Prüf- und Kalibriermethoden kann auch der Austausch neuen Wissens aus der metrologischen Forschung mit den interessierten Akteuren als Schlüssel-Aktivität angesehen werden. Solch kritische Erfolgsfaktoren wie die Schaffung neuen Wissens und erfolgreicher Wissenstransfer werden international als wesentlich zur Förderung von Handel und Innovation anerkannt.

In letzter Zeit wurde besonders durch den Start des großen europäischen Metrologie-Forschungsprogramms EMRP und die Schaffung einer Fokusgruppe zur Unterstützung der metrologischen Infrastrukturen eine neue Ära der Zusammenarbeit in EURAMET initiiert, welche bis zu einem gewissen Grad über die ursprünglichen Ziele hinausgeht. Ein Kennzeichen für die Zukunft wird die Kombination von Spitzenleistung in der Forschung mit Wissenstransfer sein, um alle Mitglied-NMIs der Vereinigung bei der Nutzung der Metrologie zur Bewältigung der „großen Herausforderungen“ der Zukunft einzubeziehen.

### Referenzen

- [1] A. Henson, "The European Metrology Research Programme in action", 2009 NCSL International Workshop and Symposium
- [2] "EURAMET and the operation of NMIs", EURAMET Guide N° 10, <http://www.euramet.org/index.php?id=guides>
- [3] "Evolving needs for metrology in trade, industry and society and the role of the BIPM", BIPM 2007, <http://www.bipm.org/utills/en/pdf/Kaarls2007.pdf>
- [4] "Metrology – in short", 3<sup>rd</sup> edition, 2008, <http://www.euramet.org/index.php?id=mis>
- [5] W. Schmid, "EURAMET developing its new role in European metrology", Proceedings IMEKO 1<sup>st</sup> Regional Metrology Organisations Symposium – RMO 2008; 20th International Metrology Symposium, November 12–15, 2008, Cavtat-Dubrovnik, Croatia, [www.rmo2008.org](http://www.rmo2008.org)
- [6] CIPM Mutual Recognition Arrangement, <http://www.bipm.org/en/cipm-mra/>
- [7] W. Schmid, A. Leitner, "Cooperation in the development of national metrology infrastructure within EURAMET", 2009 NCSL International Workshop and Symposium
- [8] The BIPM key comparison database, <http://kcdb.bipm.org>
- [9] "Planning the European Research Area in metrology", MERA final report, 2004, <http://www.euramet.org/index.php?id=documents>
- [10] L. Pendrill, "EURAMET: European Association of National Metrology Institutes", 2009 NCSL International Workshop and Symposium

## Einsatz MID-konformer Temperaturfühler für Wärmehähler in Bestandstauchhülsen

Vollversammlungs-Arbeitsausschuss „Wärmehähler“

Die Vollversammlung für das Eichwesen (VV) hat 2007 die grundsätzliche Kombinierbarkeit zwischen Wärmehähler-Teilgeräten gemäß Übergangsregelung und solchen mit MID-Herstellerkonformitätserklärung unter Beachtung der Kompatibilitätsvorgaben zu den Schnittstellen, der Nennbetriebs- und Umgebungsbedingungen beschlossen.

Für bereits im Feld eingebaute Tauchhülsen des Altbestandes wurde festgelegt, dass sie grundsätzlich nicht mit MID-gekennzeichneten Temperaturfühlerpaaren kombiniert werden dürfen. Darüber hinaus wurde der Arbeitsausschuss „Wärmehähler“ beauftragt, für die Installation von Wärmehählern Regeln zur Verwendung von MID-gekennzeichneten Temperaturfühlerpaaren in eingebauten Tauchhülsen des Feldbestandes zu erarbeiten.

Die VV hat für die Kombination der Teilgeräte eine Duldungsregelung mit einem Geltungszeitraum bis 30.10.2016 beschlossen. Mit dieser Vorgehensweise wird ein einheitlicher Maßstab zur Kompatibilitätsprüfung auch für Einbausituationen (Tauchhülsen) von Messgeräten gemäß Übergangsregelung der 4. VO zur Änderung der EO vom 08.02.2007 an die metrologische Qualität der Messungen im Feld angelegt und gleichzeitig eine Erhöhung der Montagequalität sichergestellt.

### Ausgangslage

Wärmehähler bilden unter den in der MID geregelten Messgeräten insofern eine Besonderheit, als das einerseits komplette vollständige Wärmehähler, aber auch deren Teilgeräte – Durchflusssensoren, Temperaturfühlerpaare oder Rechenwerke – konformitätsbewertet und MID-gekennzeichnet werden können. Darüber hinaus

haben sich anlagenseitig Zubehörteile etabliert, um Wärmehähler in den unterschiedlichsten Einbausituationen funktionssicher montieren und in den Betrieb nehmen zu können. Dazu zählen Tauchhülsen, die es ermöglichen, Temperaturfühler quasi „trocken“ und damit wirtschaftlich sowie sicher in eine Heizungsanlage ohne Betriebsunterbrechung einzubauen. Die Dichtigkeit der Anlage bleibt sichergestellt und bei Anlagen mit höheren Betriebsdrücken wird die Gefahr austretenden heißen Wassers abgestellt. Als Bestandteil der Verrohrung wurden Tauchhülsen auch vor Inkrafttreten der MID fest mit der Heizungsanlage verbunden und werden dementsprechend lange, typischerweise der Lebensdauer der Heizungsanlage entsprechend, von Wärmehählern genutzt.

Tauchhülsen können als spezielles Zubehör für Temperaturfühler in der innerstaatlichen Bauartzulassung bzw. EG-Baumusterprüfbescheinigung aufgeführt sein.

### Randbedingungen

Metrologisch wurde der Einfluss von Tauchhülsen auf die Messrichtigkeit und Messbeständigkeit von Temperaturfühlerpaaren in der Vergangenheit unterschiedlich betrachtet. Erst die gewachsene Erkenntnis, dass sie auf die Wärmemessung prinzipiell einen zusätzlichen Fehlereinfluss ausüben führte dazu, dass Temperaturfühlerhersteller zur Zulassungsprüfung passende Tauchhülsenbauarten vorstellten und der Zusatzfehler durch die Benutzung von Tauchhülsen im Zulassungsdokument berücksichtigt wurde. Seit 2007 ist die Voraussetzung zur Neuzulassung von Temperaturfühlerpaaren unter Verwendung von Tauchhülsen in der europäischen, zur MID harmonisierten Norm für

Wärmezähler EN 1434 (2007) beschrieben. Unter der Annahme, dass zwei Extremwerte der Passungen bei der Temperaturmessung von Vorlauf- und Rücklaufemperatur verwendet werden, wird dort auf die Differenzfehler zwischen den Grenzmaßen der verwendeten Tauchhülsen-Temperaturfühlerkombinationen abgehoben. Für maximale Durchmesserunterschiede des Fühlereinschubes darf die Fehlerdifferenz einen festgelegten Grenzwert, einem bestimmten thermischen Übergangswiderstand bzw. einen festgelegten Teil der Messfehlergrenze (MPE) entsprechend nicht überschreiten. Mit Umsetzung der europäischen Richtlinie 2004/22/EG (MID) in das deutsche Eichrecht verweist die Eichordnung (EO) seit Februar 2007 in ihrer Anlage 22 darauf, dass MID-Wärmezähler bzw. Temperaturfühler für Nenngößen DN 25 oder kleiner bei Neuinstallationen nur direkt eingebaut werden dürfen. Die Verwendung von Tauchhülsen in Kombination mit diesen MID-Geräten ist bei der Erstausrüstung von neu geplanten und errichteten Heizungsanlagen somit nicht mehr zulässig.

Für den Einsatz verschiedener Wärmezähler- und Temperaturfühlerbauarten haben sich unterschiedliche Tauchhülsenbautypen herausgebildet, die den einzelnen Fühlergeometrien und Montagemöglichkeiten Rechnung tragen. In den ca. 2,5 Mio. Einbaustellen der Wärmemessung im Bereich der Verteilmessung nach der Heizkostenverordnung und Direktmessung nach der AVB FernwärmeV sind überwiegend Tauchhülsen zur Fühleraufnahme im Einsatz, die weitgehend in den jeweiligen Bauartzulassungen der Temperaturfühler aufgenommen sind. Allerdings kommt es aufgrund bisher nicht flächendeckender Kennzeichnung von Tauchhülsen unter Umständen zu Fehlinstallationen, d. h. die Fühler werden evtl. in nicht für sie thermisch kompatible Tauchhülsen eingebaut. Überprüfungen der Einbaustellen gestatten leider heute eine nicht immer eindeutige Aufnahme und einfache Bewertung der Messstelle. Durch diese unklare Situation ist der zusätzliche Messfehler ggf. nicht klar bewertbar.

Aufgrund der beschriebenen Situation zur Metrologie und zur Verwendung von Tauchhülsen im Feld hat die VV im November 2007 das Verbot der Verwendung von MID-Geräten in Tauchhülsen bei Neuinstallationen in Anlagen mit einem Nenndurchmesser DN 25 oder kleiner gemäß EO 22 damit folgerichtig auch auf kurze Tauchhülsen des bestehenden Alt-Gebäudebestandes erweitert. Wirtschaftlich bedingt wurde der VV-Arbeitsausschuss „Wärmezähler“ beauftragt, messtechnisch definierte Regelungen zur Bestandssicherung der Tauchhülsen im Feld zu erarbeiten, da ein Austausch der fest instal-

lierten Tauchhülsen im Feld eine unzumutbar hohe Investition darstellt. Diese umfassen die Überprüfung der metrologischen Eignung des Tauchhülsenbautyps sowie die Sicherstellung der Identifikation und der nachträglichen Kennzeichnung der Tauchhülsen im Bestand.

Mit dieser Vorgehensweise soll ein stringent Verbot von bereits im Feld eingebauten Tauchhülsen und ein wirtschaftlich nicht vertretbarer Umrüstaufwand für Millionen Messstellen vermieden werden. Darüber hinaus soll der Wettbewerbsnachteil von MID-Geräten gegenüber national geeichten Geräten aufgehoben werden, soweit dies metrologisch vertretbar ist.

## Regelung

### 1. Tauchhülsen mit Baulängen größer als 60 mm

Bestandstauchhülsen mit einer Baulänge von mehr als 60 mm gelten als geduldet, wenn sie den Passtoleranzen der EN 1434-2 entsprechen und somit in Verbindung mit der Eintauchtiefe über einen geringen Wärmeübergangfehler verfügen. Bei der Verwendung MID-gekennzeichneter Temperaturfühler im Feld ist als hinreichendes Kriterium zur Überprüfung der Tauglichkeit die maßliche Prüfung mit einer Lehre in Anlehnung an EN 1434-6, Anhang C, durchzuführen.

### 2. Tauchhülsen mit Baulängen 60 mm oder kleiner

Nachfolgende Ausführungen betreffen nur Bestandstauchhülsen mit einer Baulänge von 60 mm oder kleiner, da diese aufgrund ihrer Geometrie über einen erhöhten einbauseitigen Wärmeübergangfehler verfügen können.

## Vorgehensweise

Die Regelung gilt unabhängig von einer EG-Baumuster- oder EG-Entwurfsprüfbescheinigung, da sie keine Festlegungen zum Inverkehrbringen der MID-Geräte trifft. Sie legt die in Deutschland anzuwendenden Voraussetzungen für den Einsatz von konkreten MID-gekennzeichneten Wärmezählern bzw. Temperaturfühlern (MID-Geräte) im Tauchhülsen-Feldbestand fest. Dies betrifft die Vorstellung von Tauchhülsenbautypen bei der PTB für die metrologische Beurteilung in Verbindung mit den MID-Geräten. Als Voraussetzung hierzu hat der Arbeitsausschuss die prinzipielle Klassifizierung der unterschiedlichen Tauchhülsenbautypen erarbeitet, um eine einheitliche Vorgehensweise bei der späteren Identifikation und Kennzeichnung von konkreten Tauchhülsen im Feld zu ermöglichen. Darüber hinaus hat er den prinzipiellen Einfluss der Alterung im Feld geprüft.

**Identifizierbarkeit**

Als Voraussetzung zur Regelung der Duldung von Bestandtauchhülsen erarbeitete der Arbeitsausschuss eine Übersicht eindeutiger Merkmale, mit denen Tauchhülsenbautypen nach Bild 1 identifiziert bzw. unterschieden werden können, um eine korrekte Zuordnung zwischen Fühlerbauart und Tauchhülsenbautyp zu ermöglichen.

In einer Umfrage unter Herstellern und Messgeräteverwendern wurden derzeit 84 Bautypen katalogisiert und nach folgenden, insbesondere im Feld identifizierbaren Merkmalen strukturiert:

- Bauform / signifikantes Merkmal  
z. B. M10 Innengewinde, Umlaufnut, M12 Außengewinde, Querschraube, etc.
- Identifizierbare Kennzeichnung  
z. B. Herstellerkennung, etc.
- Innendurchmesser  $d_i$
- Einschublänge des Fühlers
- Anschlussgewindemaß
- Schlüsselweite
- Höhe Sechskantkopf
- Material  
z. B. Messing, Messing verzinkt, etc.

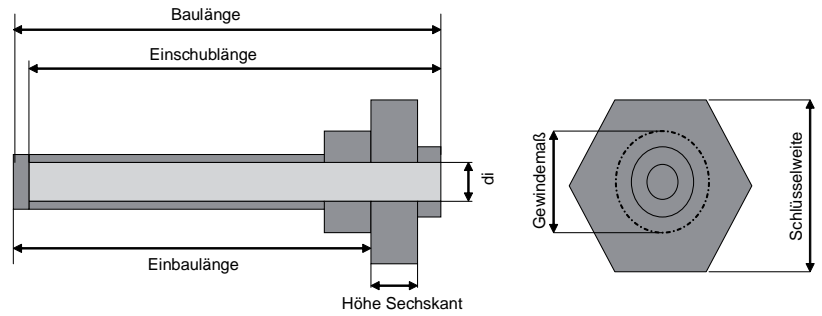
Auf diese Weise ist es möglich, dass ein Fühlerhersteller kompatible Tauchhülsenbautypen benennen und Merkmale zu deren Identifikation im Feld festlegen kann. Eine Überprüfung ergab, dass nahezu alle Tauchhülsenbautypen eindeutig und gesichert identifizierbar sind. Die Identifikationsmerkmale sollen, abgesehen vom Innendurchmesser, gerundet auf mm werden, da sie im Feld nicht genauer aufgenommen werden können.

**Alterung**

Ein weiterer Schwerpunkt lag in der Untersuchung des metrologischen Einflusses der Alterung von Tauchhülsen. Durch unterschiedliche Bestandteile im Heizungswasser, Aufheizungs- und Abkühlungsphasen und insbesondere unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten, kann es wasserseitig zu physikalischen und chemischen Ablagerungen kommen, die das thermische Verhalten der Tauchhülsen beeinflussen können. Typische Alterungsverhalten wurden untersucht und sind im Folgenden beschrieben.

Eine Möglichkeit zur Simulation von Alterung bildet der Salzsprühnebeltest nach DIN 50021-SS von vier Tauchhülsenmustern vor und nach einwöchiger

Belastung mit 5%-iger Kochsalzlösung. Die Veränderungen liegen unterhalb von 5 mK (Drift) und sind damit vernachlässigbar im Vergleich zu den MPE



für das Temperaturfühlerpaar zur Messung der Temperaturdifferenz. In weiteren Messungen wurden real im Feldeinsatz gealterte Tauchhülsen untersucht. Es zeigte sich, wie in Tabelle 1 dargestellt, dass bei typisch gealterten Tauchhülsen kein signifikanter Unterschied im Wärmeübergangfehler zwischen 17-jährigen und neuen baugleichen Tauchhülsen feststellbar ist, sofern sich eine gleichmäßig dünne Ablagerung gebildet hat. Vielmehr wurde deutlich, dass die Fühlerbauart einen wesentlich deutlicheren Einfluss auf das Messergebnis nahm als die Tauchhülse oder deren Alterung. Auch in einem Vergleich des Messfehlers von unterschiedlichen Fühlern in alten und neuen Tauchhülsen bei unterschiedlichen Temperaturen nach Bild 2 stellte die Alterung die unwesentlichste Einflussgröße dar. Somit konnte herausgearbeitet werden, dass die wesentliche Durchprägung des Messfehlers in der Kombination Fühlerbauart und Tauchhülsenbautyp liegt, die Alterung dagegen geringen Einfluss hat.

Neben dem Fehlereinfluss durch Alterung ist der Einfluss durch Verunreinigung zu beachten. Fälle extremer Inkrustation, die ggf. bereits beim 5-jährigen Eichaustauschwechsel im Hydraulikbereich des Durchflusssensors auffällig werden, sind im (derzeit vom VV Arbeits-Unterausschuss erarbeiteten) „Inbetriebnahme-Protokoll der Messstelle“ zu dokumentieren. Dermaßen auffällige Tauchhülsen der Messstellen müssen generell – wie bisher – ausgebaut und die Temperaturfühlermessstellen neu, idealerweise direkt eintauchend mit Hilfe von z. B. Kugelhähnen, gestaltet werden.

**Beschluss**

**a) Identifikation**

Eine bei der PTB abgelegte, sogenannte Bestandsliste beschreibt die für die Bestandsverwendung

Bild 1: Prinzipieller Aufbau einer Tauchhülse

Tabelle 1: Wärmeübergangsfehler Vergleich der Wärmeübergangsfehler an „alter“ Tauchhülse aus einem 17 jährigen Feldeinsatz sowie einer „neuen“ sauberen, ansonsten baugleichen Tauchhülse. Der Wärmeübergangsfehler wurde dabei mit jeweils zwei Fühlermusters unterschiedlicher Bauart der Hersteller A und B gemessen.

Fühler	Wärmeübergangsfehler in mK	
	alte Tauchhülse	neue Tauchhülse
Hersteller A	118	115
Hersteller A	87	96
Hersteller B	43	64
Hersteller B	43	58

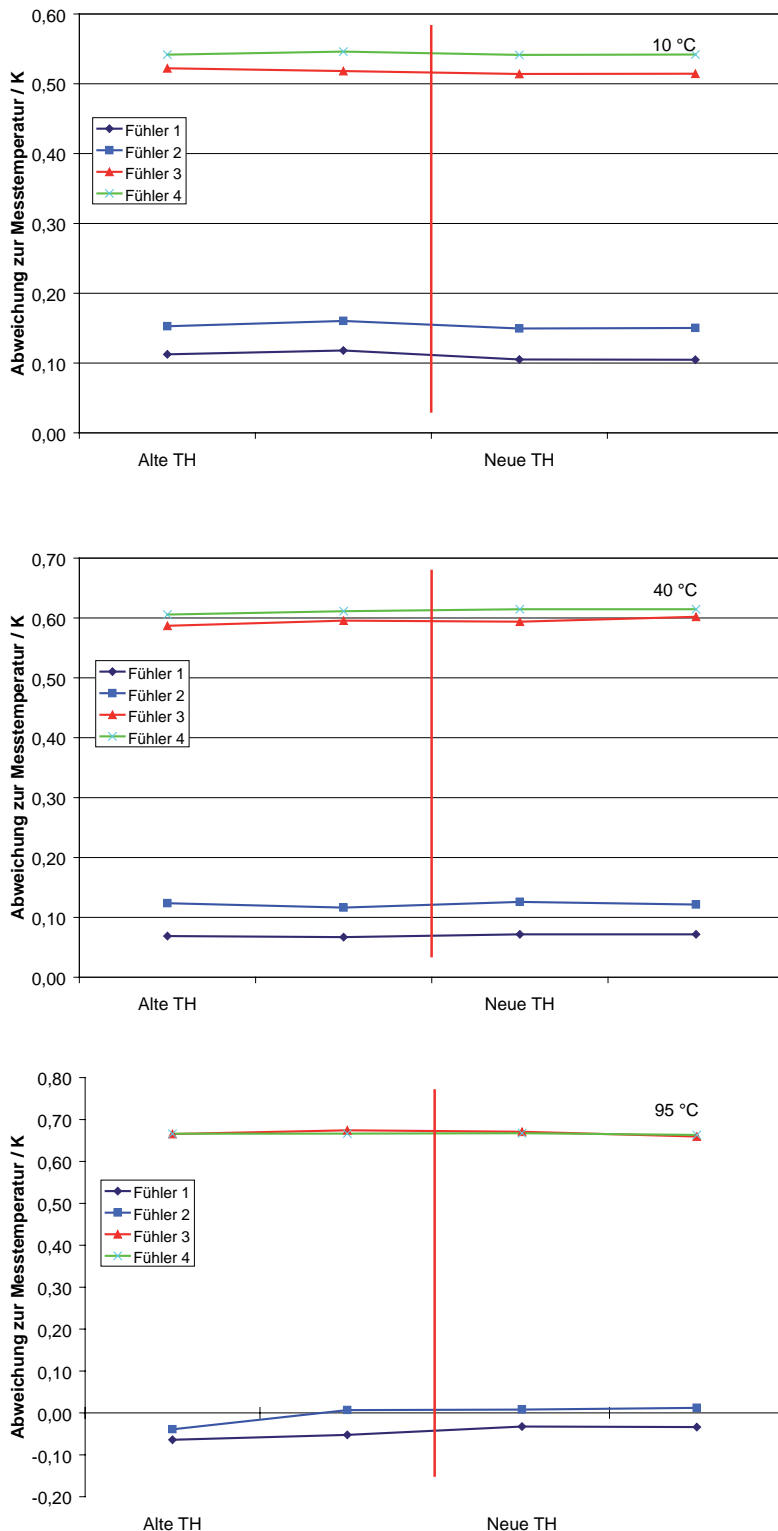


Bild 2:  
Messfehler alter und neuer Tauchhülsen  
Darstellung des Messfehlers von 4 Musterfühlern in  
10 Jahre alten Feldtauchhülsen und baugleichen, neu-  
en Tauchhülsen bei den Mediumtemperaturen 10 °C,  
40 °C und 95 °C

mit MID-gekennzeichneten Fühlern in Frage kommenden Tauchhülsen mit einer Gesamtlänge von 60 mm oder weniger. Sie enthält derzeit 84 Tauchhülsenbautypen und wird bei Bedarf von der PTB weiter fortgeschrieben bzw. ergänzt. Als Identifikationsmerkmale wurden „Kennzeichnung/signifikantes Merkmal“, „Tauchhülseninnendurchmesser“, „Einschublänge“, „Gewindemaß“, „Schlüsselweite“, „Höhe Sechskant“ sowie „Material“ aufgenommen. Die Werte wurden auf nachvollziehbare Größen gerundet (z. B. auf ganze mm), es handelt sich also um im Feld, teilweise mit maßlichen Messmitteln prüfbare Merkmale.

Die Hersteller MID-gekennzeichneter Fühler haben somit die Möglichkeit, die Selektionsmerkmale für kompatible Tauchhülsen zu ihren Fühlern so in ihren, den Messgeräteverwendern mitzuteilenden Informationen (in der Einbaubeschreibung, durch Beipackzettel) zu bestimmen, dass nur die zur Verwendung geeigneten Tauchhülsen auf eine oder mehrere Bauarten gemäß Bestandsliste zurückführbar sind, für die die im nachfolgenden Abschnitt c) geregelte metrologische Eignungsprüfung nachgewiesen wurde.

In besonderen Fällen können die Hersteller auch „ergänzende Merkmale“ für die Identifikation heranziehen. Bei der Verwendung der MID-Fühler im Feld sind diese Merkmale positiv durch visuelle bzw. maßliche Prüfungen z. B. mit einer Lehre in Anlehnung an EN 1434-6, Anhang C, durch den vom Messgeräteverwender beauftragten Monteur zu identifizieren.

Die konkrete Vorgehensweise ist bei der Eignungsprüfung (siehe Abschnitt c) dem zuständigen Fachbereich der PTB vorzustellen.

## b) Kennzeichnung/Dokumentation

Messgeräteverwender bzw. die von ihnen beauftragten Monteure dürfen MID-gekennzeichnete Temperaturfühler nur in Verbindung mit Bestands-tauchhülsen mit einer Gesamtlänge von 60 mm oder weniger einsetzen, wenn diese positiv nach Abschnitt a) für die als geeignet erkannte Tauchhülsenbauart identifiziert wurden. Die Tauchhülse muss am Einbauort nachträglich mit einer eindeutigen Kennzeichnung und mit einer Benutzersicherung für die Temperaturfühler versehen werden. Die Kennzeichnung muss dabei mindestens einen die Tauchhülsenbauart bestimmenden Schlüssel gemäß der PTB-Bestandsliste (z. B. „TH xxx“) enthalten, die für Zwecke der Marktkontrolle durch die Eichaufsichtsbehörden bei der PTB abgelegt wurde.

Grundsätzlich gilt die Duldung unabhängig von der Kennzeichnung des Temperaturbereiches nur bis zur Mediumtemperatur von 110 °C. In Ausnahmefällen ist die bei der Eignungsprüfung nachgewiesene und dokumentierte Temperatur zusätzlich anzugeben.

### c) Metrologische Eignungsprüfung

Für MID-gekennzeichnete Fühlerbauarten zum vorgesehenen Einbau in Tauchhülsen des Alt-Feldbestandes gemäß PTB-Bestandsliste gemäß Abschnitt a) muss zuvor die metrologische Eignung so positiv nachgewiesen werden, dass die konkreten Fühler in eine oder mehrere Bestandstauchhülsenbautypen einer Gesamtlänge von 60 mm oder weniger metrologisch abgesichert einsetzbar sind. Hierzu muss die in der EN 1434-4, Abschnitt 6.4.4.4 geforderte Prüfung bei der PTB exemplarisch mit neuwertigen Mustern des betrachteten Bautyps durchgeführt werden. Das Annahmekriterium der Eignungsprüfung ist 0,5 MPE, entsprechend etwa dem 1,6-fachen Annahmekriterium nach der Norm.

### d) Dokumentation der Eignung durch die PTB

Bei erfolgreichem Nachweis dokumentiert die PTB die Eignung der MID-konformen Fühlerbauart zur Verwendung mit der/den entsprechenden Tauchhülsenbautypen mit einer Gesamtlänge von 60 mm oder weniger durch:

- Benennung der Nummer der Baumuster- / Entwurfsprüfbescheinigung der Fühler bzw. des Wärmezählers
- Benennung der geeigneten Bestandstauchhülsenbautypen durch ihre Bauartschlüssel TH xxx (Bestandsliste)
- Benennung der Identifikationsmerkmale für diese Bestandstauchhülsenbautypen
- Benennung der max. Einsatztemperatur falls diese von 110°C abweicht.

Die PTB erstellt einen Prüfbericht, dessen Anhang die aufgeführten Informationen des Herstellers gemäß Abschnitt a) sowie das vom Hersteller anzugebende Aussehen der nachträglichen Kennzeichnung der Feldbestandstauchhülse(n) – gleichlautend zu seinen Ausführungen für den Messgeräteverwender – beigefügt werden. Der Prüfbericht belegt nur die messtechnische Kompatibilität zwischen der vorgestellten MID-Temperaturfühlerbauart und den als geeignet überprüften Bestandstauchhülse(n), er wiederholt nicht die von der VV ausgesprochene Duldungsregelung der Eichaufsichtsbehörden unter den beschriebenen Randbedingungen.

### e) Dokumentation der Eignung durch den Hersteller

Der Hersteller muss in seiner Einbauanleitung bzw. durch aktualisierte Beipackzettel die oben aufgeführten Benennungen (Nummer der EG-Baumuster-/Entwurfsprüfbescheinigung; Bauartschlüssel der geduldeten Bestandstauchhülsen gemäß dem von der PTB vergebenen Schlüssel; konkrete Identifikationsmerkmale) dokumentieren.

Fehlen dem Messgeräteverwender bzw. dem von ihm beauftragten Monteur diese Hinweise oder können am Einbauort des Alt-Feldbestandes die vorgefundenen Tauchhülsen nicht zweifelsfrei identifiziert werden, ist der Einbau der MID-Geräte in die vorgefundenen Tauchhülsen gemäß VV-Beschluss weiterhin verboten.

### Zusammenfassung

Die VV 2007 hat der Kombination von MID-gekennzeichneten mit gleichwertigen national zugelassenen und geeichten Wärmezähler-Teilgeräten zugestimmt unter der Einschränkung, dass MID-gekennzeichnete Wärmezähler oder Temperaturfühlerpaare nur bei Nachweis der messtechnischen Eignung und Kennzeichnung in bereits im Feld eingebaute Tauchhülsen eingebaut werden dürfen. Die vom VV-Arbeitsausschuss „Wärmezähler“ erarbeitete Regelung ermöglicht eine wirtschaftlich sinnvolle und metrologisch vertretbare Verwendung von MID-Geräten im Anlagenbestand.

#### 1. Tauchhülsen mit Baulängen größer 60 mm

Bestandstauchhülsen mit Baulängen von mehr als 60 mm gelten als geduldet, wenn sie den Passtoleranzen nach EN 1434-2 entsprechen. Als hinreichendes Kriterium zur Überprüfung der Eignung ist die maßliche Prüfung mit einer Lehre in Anlehnung an EN 1434-6, Anhang C, durchzuführen.

#### 2. Tauchhülsen mit Baulängen 60 mm oder kleiner

Für Bestandstauchhülsen mit Baulängen von 60 mm oder kleiner wird durch den Nachweis der metrologischen Eignung von MID-gekennzeichneten Wärmezählern bzw. Temperaturfühlerpaaren in Kombination mit den zu verwendenden Bestandstauchhülsenbautypen sowie die Verpflichtung zur Identifikation und nachträglichen Kennzeichnung als geeignet erachteter Tauchhülsen im Feld ermöglicht, auch MID-Geräte im Anlagenbestand wirtschaftlich sinnvoll zu verwenden, soweit dies metrologisch vertretbar ist.

Durch diese Regelung wird ein metrologisch einheitlicher Maßstab angelegt, durch Identifikation und Kennzeichnung ist die notwendige Transparenz für die Bewertung von Messstellen im Feld zum Beispiel bei Befundprüfungen und zukünftig auch bei Inbetriebnahme-Prüfungen gegeben. MID-Messgeräte werden damit gegenüber gleichwertigen, national geeichten Wärmezählern im Wettbewerb nicht mehr benachteiligt.



