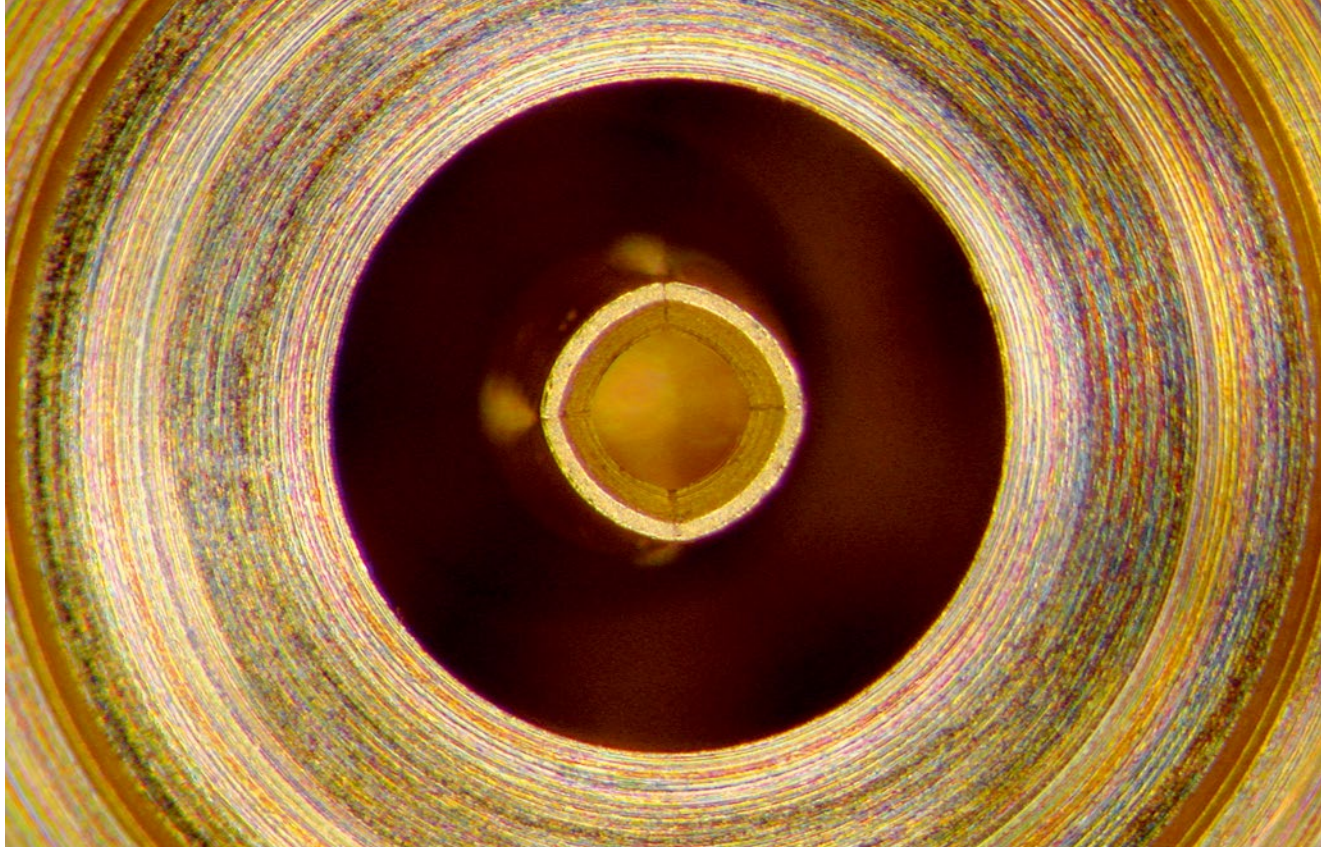


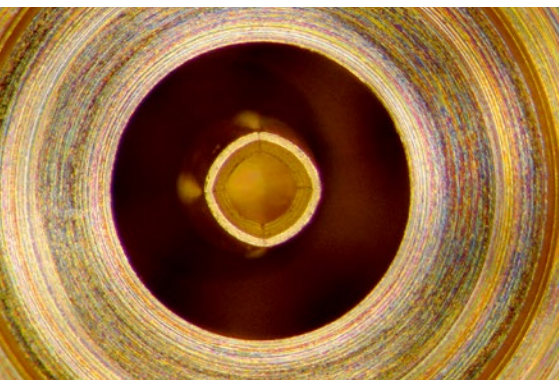


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS



Das METAS im Jahr 2018



Titelbild: Ein Stecker von höchster Präzision, wie er in der Hochfrequenzmesstechnik verwendet wird (vgl. S. 14).

Impressum

Der vorliegende Bericht soll in verständlicher Form einen Überblick über die Tätigkeiten des METAS im Berichtsjahr 2018 geben. Weitergehende Informationen können dem Geschäftsbericht des METAS, dem Jahresbericht über den Vollzug des Messgesetzes (beide publiziert auf www.metas.ch), dem Kaderlohnreporting (publiziert auf www.epa.admin.ch) und der Kurzberichterstattung des Bundesrates über die Erfüllung der strategischen Ziele der verselbständigten Einheiten des Bundes (publiziert auf www.efv.admin.ch) entnommen werden.

Herausgeber

Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS
Lindenweg 50, 3003 Bern-Wabern, Schweiz
Telefon +41 58 387 01 11, www.metas.ch

Copyright

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet, Belegexemplare erwünscht.

Finanzen

Die Seiten 26 und 27 dieses Berichts wurden in Anwendung des Schweizer Prüfungsstandards (PS) 720 «Andere Informationen in Dokumenten, die geprüfte Abschlüsse enthalten» der Revisionsstelle zur Kenntnis gebracht und von dieser eingesehen.

Sprachen

Dieser Bericht wird in deutscher, französischer, italienischer und englischer Sprache herausgegeben.

Ausgabe

Mai 2019

Bildnachweis

METAS
Stéphane Schmutz STEMUTZ (S. 16, 17)
BIPM, Paris (S. 20)

Layout

Casalini Werbeagentur AG, 3000 Bern 13
www.casalini.ch



Inhaltsverzeichnis

4	Vorworte
6	Das METAS leiten: Institutsrat und Geschäftsleitung
8	Messen für Wirtschaft und Gesellschaft: Die Aufgaben des METAS
10	Projekte für das Messen: Forschung und Entwicklung
12	Messen im Dienst der Produktentwicklung: Kooperationsprojekte mit der Industrie
14	Metrologie für die Wirtschaft: Messunsicherheit auf Knopfdruck
16	Naturkonstanten statt Urkilogramm: Neue Definitionen für unsere Masseinheiten
20	Messen über die Grenzen hinweg: Internationale Organisationen der Metrologie
21	Messen regeln: Gesetzgebung im Bereich der Metrologie
22	Messmittel konform in Verkehr bringen: METAS-Cert
24	Messen als Beruf: Das METAS als Arbeitsort
26	Finanzen
28	Über das Messen informieren: Publikationen und Vorträge des METAS

Wechsel und Konstanz



Im vergangenen Jahr gab es Veränderungen im Institutsrat. Mit der Wahl von Frau Dr. Ursula Widmer im Februar erhielt er eine willkommene Verstärkung durch eine ausgewiesene Expertin in den Themenfeldern Informatik und Recht sowie Informationssicherheit. Die bisherige Präsidentin, Prof. Dr. Martina Hirayama, trat auf Ende Jahr aus dem Institutsrat zurück, weil sie vom Bundesrat zur neuen Leiterin des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation ernannt worden war.

Am 6. November 2018 hat der Bundesrat mich zum Präsidenten des Institutsrats für den Rest der laufenden Amtsperiode gewählt. Ich war von Anfang an Mitglied des Institutsrats und freue mich darauf, mich in meiner neuen Funktion, zusammen mit meinen Institutsratskolleginnen und -kollegen und der Geschäftsleitung, weiterhin für die strategische Ausrichtung und die unternehmerische Leitung des METAS einsetzen zu können.

Frau Hirayama hat sich als erste Präsidentin des Institutsrats des METAS tatkräftig bei den Vorbereitungen zur Gründung des Instituts und der Aufnahme des Betriebs eingesetzt und nachhaltig zur strategischen Ausrichtung und zum Forschungs- und Entwicklungsprogramm beigetragen. Für ihr grosses Engagement zugunsten des METAS danke ich ihr von ganzem Herzen.

Nicht geändert haben sich die Aufgaben des Institutsrats. Diese liegen in erster Linie auf strategischer Ebene. Für ein nationales Metrologieinstitut sind Forschung und Entwicklung strategisch zentral. Entsprechend hat sich der Institutsrat mit der Ausrichtung der Forschung und Entwicklung am METAS befasst. Wir konnten die erfolgreichen Ergebnisse zur Kenntnis nehmen, die mit dem 2014 bewilligten Aufbau von Tätigkeiten in drei neuen Gebieten in den Bereichen Referenzgasgemische, dimensionelles Messen und Optik erreicht worden sind. Zudem konnten wir ein neues Aufbauprojekt, das Projekt Labormedizin – Nukleinsäure-Metrologie, genehmigen.

Dr. Matthias Kaiserswerth
Präsident des Institutsrats

« Für ein nationales Metrologieinstitut sind
Forschung und Entwicklung strategisch zentral. »

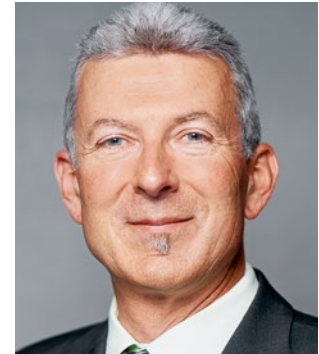
Ein Meilenstein in der Entwicklung des Internationalen Einheitensystems

Metrologie ist eine langfristig angelegte Tätigkeit. Das zeigt sich nicht zuletzt auch bei der Revision des Internationalen Einheitensystems, die im November 2018 von der 26. *Conférence générale des poids et mesures* in Versailles beschlossen worden ist (vgl. S. 16).

Die ersten Experimente für eine Neudefinition des Kilogramms, gestützt auf physikalische Naturkonstanten und nicht mehr auf das Urkilogramm, wurden in der zweiten Hälfte der Siebziger Jahre am nationalen Metrologieinstitut Grossbritanniens vorgenommen. Schon im Jahr 1900 brachte Max Planck, als er sein Strahlungsgesetz formulierte, die Idee ins Spiel, Konstanten als sozusagen natürliche Masseneinheiten zu nehmen. Ein Wechsel auf eine neue Definition des Kilogramms war aber erst möglich, als die Experimente zur Bestimmung der Planck-Konstante rückführbare Ergebnisse von genügender Messunsicherheit liefern konnten. Ein Übergang von einem bestehenden zu einem revidierten Einheitensystem muss sorgfältig vorgenommen werden. Ein Einheitensystem muss die Vergleichbarkeit und Stabilität von Messresultaten ermöglichen, schliesslich sollen Messungen über lange Zeiträume hinweg miteinander vergleichbar sein.

Die Messgrundlagen sind langfristig angelegt, die Technologie entwickelt sich aber laufend weiter. Das METAS erbringt für die Schweizer Wirtschaft Dienstleistungen und stellt ihr sein Know-how zur Verfügung. Entsprechend muss das METAS, wie andere nationale Metrologieinstitute auch, sowohl die Messgrundlagen sorgfältig pflegen wie auch technologisch vorne mit dabei sein.

Dr. Philippe Richard
Direktor



Metrologie ist eine langfristig angelegte Tätigkeit.



Das METAS leiten: Institutsrat und Geschäftsleitung

*An der Spitze des METAS steht der Institutsrat.
Er ist für die unternehmerische Leitung verantwortlich.
Die operative Führung nimmt die Geschäftsleitung wahr.*

Der Institutsrat setzt sich gemäss den gesetzlichen Vorgaben aus fünf bis sieben fachkundigen Mitgliedern zusammen. Im Berichtsjahr bestand er aus sechs Mitgliedern, nachdem der Bundesrat am 12. Februar 2018 Frau Dr. Ursula Widmer als weiteres Mitglied des Institutsrats für die laufende Amtsperiode bis Ende 2019 gewählt hatte. Die Mitglieder des Institutsrats verfügen über grosse Führungserfahrung, akademisch und unternehmerisch, und über langjährige und vielfältige Erfahrung in Forschung und Entwicklung in Naturwissenschaften und Technik. Die bisherige Institutsratspräsidentin, Frau Professor Dr. Martina Hirayama, ist auf Ende 2018 aus dem Institutsrat zurückgetreten, weil sie vom Bundesrat zur neuen Leiterin des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) ernannt worden war. Am 6. November 2018 hat der Bundesrat Herrn Dr. Matthias Kaiserswerth zum Präsidenten des Institutsrats des METAS für den Rest der laufenden Amtsperiode gewählt.

Strategische Ausrichtung festlegen

Die Aufgaben des Institutsrats sind im Instituts-gesetz festgelegt. Er beantragt beim Bundesrat die Abgeltungen für die vom Bund zu erbringenden Leistungen und genehmigt das Forschungs- und Entwicklungsprogramm. Er hat die Aufsicht über die Geschäftsleitung und erlässt die Personalverordnung.

Zu den wichtigsten Aufgaben des Institutsrats gehört es, gemeinsam mit der Geschäftsleitung, die strategische Ausrichtung des METAS festzulegen. Dabei orientiert er sich an den Vorgaben des Bundesrates, die in den strategischen Zielen für das METAS festgehalten sind. Der Bundesrat erwartet vom METAS, dass es Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung eine leistungsfähige metrologische Infrastruktur und die benötigten Messgrundlagen und metrologischen Dienstleistungen zur Verfügung stellt.



Geschäftsleitung

Für die operative Führung des METAS ist die Geschäftsleitung verantwortlich. Sie vertritt das METAS gegen aussen und bestand im Berichtsjahr aus dem Direktor, Dr. Philippe Richard, dem Stellvertretenden Direktor, Dr. Gregor Dudle, und dem Vizedirektor, Dr. Bobjoseph Mathew.



Die Mitglieder des Institutsrats v.l.n.r.: Dr. Tony Kaiser, Mitglied; Dr. Matthias Kaiserswerth, Präsident; Frau Dr. Ursula Widmer, Mitglied; Prof. Dr. Thierry J.-L. Courvoisier, Mitglied; Prof. Dr. Ulrich W. Suter, Vizepräsident.

Dr. Matthias Kaiserswerth ist promovierter Informatiker. Von 2006 bis 2015 war er als Direktor des IBM-Forschungslabors in Zürich-Rüschlikon und Vizepräsident der Global Systems Management and Compliance Area Strategy von IBM Research tätig. Seit 2015 ist er Geschäftsführer der Hasler Stiftung. Er war von Anfang an (seit 2012) Mitglied des Institutsrats des METAS. Anfang 2019 hat er das Amt des Präsidenten des Institutsrats übernommen.

Frau Dr. Ursula Widmer ist Rechtsanwältin. Sie ist auf Informatik-, Internet- und Telekommunikationsrecht spezialisiert und hat eine entsprechende Wirtschaftsanwaltskanzlei gegründet. Sie ist Lehrbeauftragte für Recht der Informationssicherheit an der ETH Zürich. Sie war Mitglied verschiedener Fach- und Expertenkommissionen und Präsidentin von ISSS und ITechlaw.

Messen für Wirtschaft und Gesellschaft: Die Aufgaben des METAS

Am genauesten misst die Schweiz in Wabern. Dort ist das Eidgenössische Institut für Metrologie METAS zu Hause – das messtechnische Referenzzentrum der Schweiz.

Das METAS ist das nationale Metrologieinstitut der Schweiz. Es ist das Kompetenzzentrum des Bundes für alle Fragen des Messens, für Messmittel und Messverfahren. Mit seinen Tätigkeiten in Forschung und Entwicklung und seinen Dienstleistungen schafft es die Voraussetzungen dafür, dass in der Schweiz mit jener Genauigkeit gemessen werden kann, die für die Belange von Wirtschaft, Forschung, Verwaltung und Gesellschaft erforderlich ist.

Verbindliche Referenzmasse

Das METAS realisiert die Referenzmasse der Schweiz, sorgt für deren internationale Anerkennung und gibt sie in der erforderlichen Genauigkeit weiter. So stellt es der Wirtschaft und Gesellschaft die messtechnische Grundinfrastruktur zur Verfügung. Diese ist überall dort von Bedeutung, wo gemessen wird.

Das METAS beaufsichtigt das Inverkehrbringen, die Verwendung und die Kontrolle von Messmitteln in Handel, Verkehr, Öffentlicher Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz. Es sorgt dafür, dass die für den Schutz und die Sicherheit von Mensch und Umwelt notwendigen Messungen richtig und vorschriftsgemäss durchgeführt werden können.



Fortschritt braucht Genauigkeit

Zuverlässig herstellen und überwachen lässt sich nur das, was präzise gemessen werden kann. Wissenschaft und Technik sind deshalb auf laufend weiter entwickelte messtechnische Grundlagen und Verfahren angewiesen. Mess- und Regelverfahren, die von wichtigen Zweigen der Schweizer Wirtschaft, wie etwa der Mikro- und Medizinaltechnik, verwendet werden, benötigen zum Beispiel Messmethoden, deren Genauigkeit im Bereich von Millionstel Millimetern liegt.

Metrologie

Metrologie ist die Wissenschaft und Technik des Messens (vom griechischen *metron* – Mass). Metrologie wird häufig mit *Meteorologie* verwechselt. Die beiden Begriffe haben allerdings inhaltlich nichts miteinander zu tun. Unter *Meteorologie* versteht man die Lehre von den Witterungserscheinungen (vom griechischen *meteoros* – in der Luft schwebend).



Das METAS verfolgt die wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen, um stets auf dem aktuellen Stand zu bleiben. Es betreibt Forschung und Entwicklung zur Verbesserung seiner Messplätze und Messdienstleistungen. Es überprüft regelmäßig seine Angebote an Dienstleistungen und passt sie den Bedürfnissen des Marktes an.



Der Ort, wo die Schweiz am genauesten ist: das METAS in Wabern.

Projekte für das Messen: Forschung und Entwicklung

Das METAS führt seine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten vorwiegend im Rahmen des Europäischen Metrologie-Forschungs- und Entwicklungsprogramms (EMPIR) durch.

Im Berichtsjahr beteiligte sich das METAS an 24 EMPIR-Projekten. Parallel dazu fand 2018 die fünfte Projektausschreibung des Programms EMPIR statt. Das METAS hat sich mit Projektvorschlägen zu den Schwerpunktthemen «Health», «SI Broader Scope», «Pre-normative» und «Networks» an der Ausschreibung beteiligt und eine überdurchschnittliche Erfolgsrate erzielt.

Messgrundlagen zur Verbesserung der Luftqualität

Schwarzer Kohlenstoff ist nach Kohlendioxid eine der wichtigsten Einflussgrößen für den Klimawandel. Als schwarzer Kohlenstoff ("Black carbon") werden Aerosolteilchen bezeichnet, die aus reinem Kohlenstoff bestehen, durch unvollständige Verbrennung von fossilen Brennstoffen oder Biokraftstoffen entstehen und in Russ freigesetzt werden. Aerosole wirken sich nicht nur auf das Klima aus, sondern beeinträchtigen die menschliche Gesundheit schwerwiegend. 2011 wurden in der EU etwa 430 000 vorzeitige Todesfälle auf Feinstaub zurückgeführt.

Die Messung von Black-Carbon-Partikeln in der Luft ist sowohl wegen ihrer Rolle beim Klimawandel als auch als Mass für gesundheitliche Auswirkungen von Verbrennungsprodukten von Bedeutung. Es werden heute viele Messungen durchgeführt und es stehen dazu kompakte, präzise und relativ kostengünstige Echtzeitinstrumente zur Verfügung. Die verwendete Metrik beruht auf den Lichtabsorptionseigenschaften der Schwebeteilchen. Sie ist damit zwar konzeptionell einfach, die vollständige Rückführbarkeit auf das SI ist aber noch nicht sichergestellt, was sich negativ auf die Vergleichbarkeit und Interpretation der Daten auswirkt. Ziel eines europäischen Forschungsprojektes mit Beteiligung des METAS ist es, eine praktikable Lösung für dieses Problem zu finden.

Referenzpartikel

Der Beitrag des METAS besteht darin, Referenzpartikel herzustellen, die in ihrer chemischen Form, Größenverteilung und den optischen Eigenschaften möglichst gut die in der Atmosphäre vorkommenden



Black-Carbon-Partikel repräsentieren. Damit können die im Feld eingesetzten Messgeräte kalibriert werden. In Zusammenarbeit mit der Firma Jing SA wurde ein Generator für Black Carbon mit den erforderlichen Eigenschaften entwickelt und charakterisiert. Dieser erlaubt es, das Verbrennungsgas vorgängig mit Luft anzureichern und somit Partikel mit höherem Anteil an elementarem Kohlenstoff zu erzeugen. Die chemischen und optischen Eigenschaften der Partikel können unabhängig von der Partikelgröße eingestellt werden. In Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz wurde zudem eine Methode weiterentwickelt, um die erzeugten Russpartikel mit organischem Material



zu mischen und mit ultraviolettem Licht künstlich zu altern (Beschichtung). Dieser beschleunigte Alterungsprozess erlaubt es, natürlich gealterte Partikel in der Atmosphäre nachzubilden.

Die im Projekt entwickelte Messmethodik trägt zu einer einheitlichen und zuverlässigen Bestimmung der Luftschadstoffe bei. Dank der verbesserten Datenlage können Klimamodelle verbessert und die Regulierung im Bereich der Luftreinhaltung unterstützt werden.



Herstellung von Referenzpartikeln.

Messen im Dienst der Produktentwicklung: Kooperationsprojekte mit der Industrie

Das METAS wird als Forschungspartner durch Innosuisse gefördert. Unternehmen können somit die Forschungs- und Entwicklungskompetenzen des METAS für ihre Innovationen und Entwicklungen nutzen und zusammen mit dem METAS Projekte in anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung durchführen.

Das im METAS erarbeitete wissenschaftlich-technische Know-How ist für die Industrie nicht nur in Form von Kalibrier- und Messdienstleistungen nutzbar, sondern auch direkt für die Produkt- und Prozessentwicklung. Das METAS kann in verschiedensten Bereichen ein interessanter Kooperationspartner sein. Die Zusammenarbeit mit der Industrie in Form von Innovationsprojekten wird weiter ausgebaut. Seit 2013 wurden von Innosuisse (vormals KTI) zwölf Projekte genehmigt.

Neue Bereiche in der Impedanzmessung

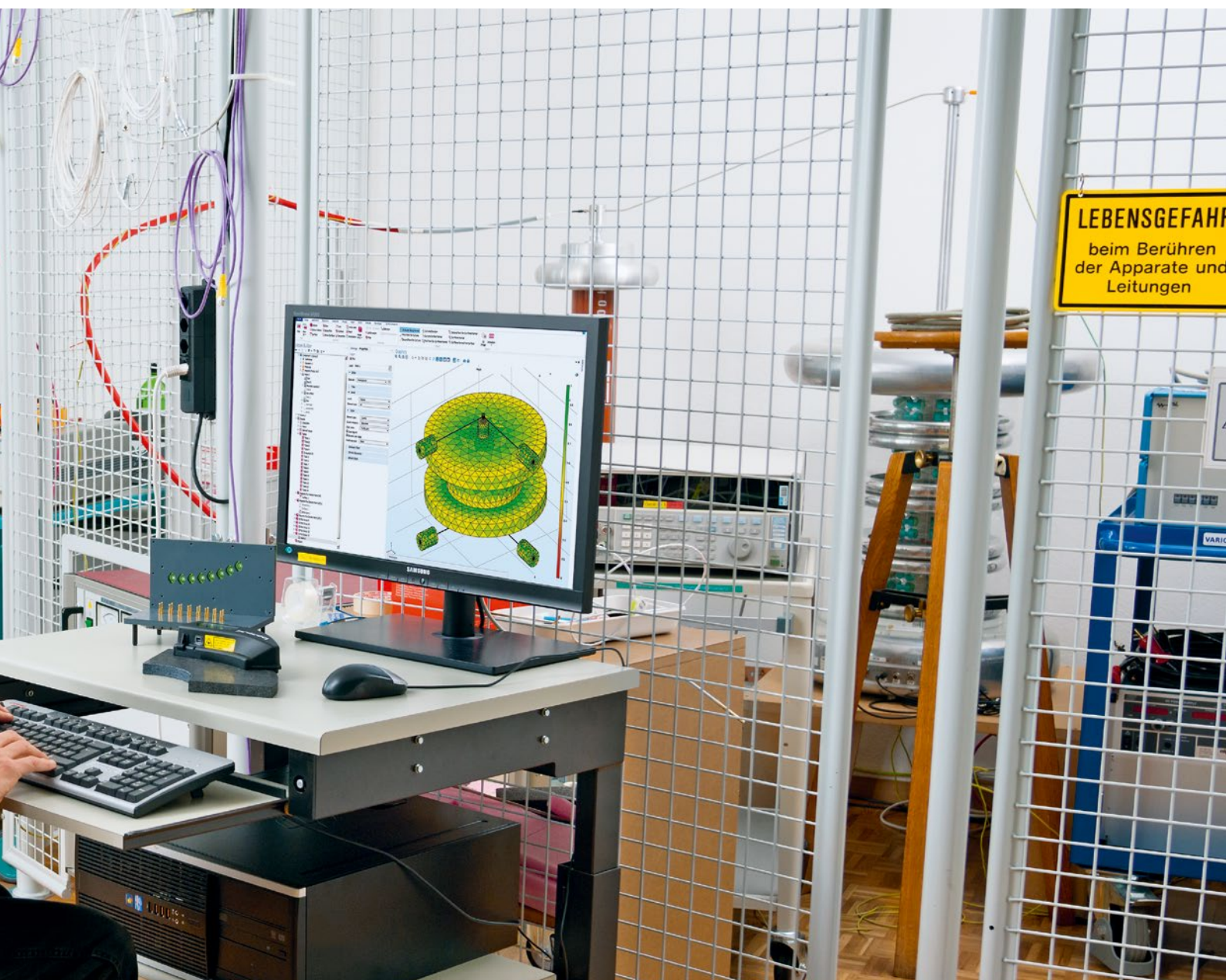
Der Wechselstromwiderstand, auch Impedanz genannt, ist eine der wichtigsten elektrischen Größen. Wird die Impedanz bei mehreren Frequenzen über einen definierten Frequenzbereich bestimmt, spricht man auch von Impedanzspektroskopie. Sie hat ein breites Anwendungsspektrum, von der Untersuchung von Materialien, über die Charakterisierung von Batterien, Brennstoffzellen und Korrosionsvorgängen, die Charakterisierung elektrischer und elektronischer Bauteile bis hin zur Untersuchung von Geweben und Zellsuspensionen in medizinischen Anwendungen. Neue Entwicklungen verlangen die Erweiterung des Frequenzbereichs bis in den oberen Megahertzbereich hinein.

Widerstands- und Kapazitätsnormale

Die Schweizer Firma Zurich Instruments AG ist einer der führenden Hersteller von Lock-in-Verstärkern für Anwendungen in der Wissenschaft und im Hightech-Bereich. Basierend auf dieser Kernkompetenz entwickelt die Firma Impedanzmessgeräte, die bis zu Frequenzen von einigen Hundert Megahertz mit bis anhin unerreichter Genauigkeit arbeiten. In einem von Innosuisse geförderten Zusammenarbeitsprojekt entwickelt das METAS Widerstands- und Kapazitätsnormale, die für das Kalibrieren der neuen Messgeräte erforderlich sind.

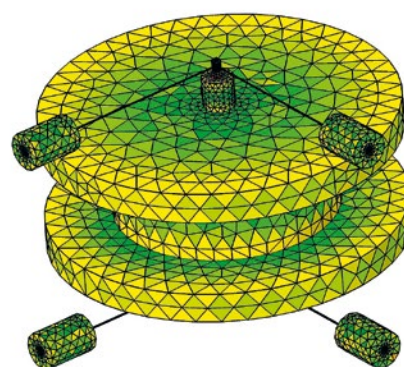


Die Herausforderung dabei ist die Abdeckung des Bereichs von ca. 30 kHz bis zu mehreren hundert MHz. In diesem Bereich können die Welleneigenschaften des elektrischen Signals nicht mehr vernachlässigt werden; die Wellenlänge ist aber immer noch gross im Vergleich zu den Abmessungen der elektrischen Bauteile. In diesem Übergangsbereich findet damit auch der Übergang zwischen zwei fundamental unterschiedlichen Ansätzen in der Messtechnik statt, was sich auch in einer Verschlechterung der Messunsicherheiten ausdrückt. Das Problem, auch manchmal «frequency gap» genannt, wurde gemeistert durch die Entwicklung von Normalen, die über den ganzen Frequenz-



bereich zuverlässig eingesetzt werden können, durch hochgenaue Messungen im Bereich unterhalb 30 kHz und demjenigen oberhalb 100 MHz, sowie durch Modellierung mit modernen Software-Werkzeugen über den ganzen Frequenzbereich.

Das Projekt hilft dem Industriepartner bei der Entwicklung eines neuen innovativen Produkts und seiner Einführung in einem kompetitiven Markt. Gleichzeitig erlaubt es dem METAS, seine Messmöglichkeiten in einem bislang nur mässig abgedeckten Bereich deutlich zu erweitern und zu verbessern, und dadurch einen neuen Stand der Technik zu definieren.



Entwicklung von Widerstands- und Kapazitätsnormalen.

Metrologie für die Wirtschaft: Messunsicherheit auf Knopfdruck

Das METAS unterstützt mit seinen Dienstleistungen zahlreiche Unternehmen aus verschiedenen Wirtschaftszweigen, richtig und zuverlässig messen zu können. So können sie die Qualitätsansprüche erfüllen, die an ihre Produkte gestellt werden.

Das METAS erbringt für die Wirtschaft zahlreiche Kalibrier-, Mess- und Prüfdienstleistungen. So wurden 2018 wiederum rund 5000 Zertifikate und Berichte erstellt. Die wichtigsten Kundensegmente sind die Maschinen-, Elektro-, Metall- und Uhrenindustrie, die Medizin- sowie die Kommunikationstechnik.

Hochfrequenzmesstechnik

Vektor-Netzwerk-Analysatoren (VNA) werden eingesetzt um das Reflexions- und Transmissionsverhalten von elektrischen Komponenten bezüglich hochfrequenter Signale zu messen. Dies sind grundlegende Messgrößen in der Hochfrequenzmesstechnik. So wird etwa in der Kommunikationstechnik die Qualität der Signalübertragung mittels VNA-Messungen bestimmt.

Entscheidend für die Verlässlichkeit der Resultate ist eine korrekte Bewertung der Messunsicherheit. Diese gestaltet sich aber bei VNA-Messungen aus mehreren Gründen als schwierig: Die Messgröße ist komplex (Amplitude und Phase werden gleichzeitig gemessen), der Messprozess ist mehrstufig, und es werden grosse Messdatensmengen erzeugt. Dies führt zu einem Rechenaufwand, der nicht mehr von Hand oder mit einem Tabellenkalkulationsprogramm bewältigt werden kann.

Effiziente Tools zur Ermittlung der Messunsicherheit

Deshalb hat das Labor *Hochfrequenz* die Metrologie-Software *VNA Tools* entwickelt. Sie läuft auf einem PC und verarbeitet die Rohmesswerte des VNA extern. *VNA Tools* wird kontinuierlich weiterentwickelt und sein Funktionsumfang übertrifft inzwischen denjenigen vieler kommerzieller VNA-Firmware. Was die Software aber vor allem auszeichnet, ist die korrekte Bestimmung der



Messunsicherheiten gemäss internationalen Richtlinien. Dazu greift *VNA Tools* auf die *Unclib* zurück, eine Software-Bibliothek zur Messunsicherheitsfortpflanzung, die ebenfalls vom Labor entwickelt wurde. Die *Unclib* ist ein eigenständiges Software-Paket und lässt sich auch in anderen Gebieten einsetzen.

VNA Tools wurde ursprünglich für Benutzer auf Stufe der nationalen Metrologieinstitute entwickelt. Inzwischen sind aber auch Universitäten, Kalibrier- und Industrielabors unter den fast 800 Lizenznehmern. Um das Potential der Software voll ausschöpfen zu können, empfiehlt sich der Besuch eines

Metrologie-Software VNA Tools

Auf www.metas.ch/vnatools kann die Metrologie-Software *VNA Tools* heruntergeladen werden. Für das Software-Paket *Unclib*, eine Software-Bibliothek zur Messunsicherheitsfortpflanzung, steht www.metas.ch/unclib zur Verfügung.



dreitägigen Kurses, der vom Labor *Hochfrequenz* angeboten wird. Von diesem Angebot haben bereits knapp 200 Nutzer profitiert.

Für industrielle Anwender ist auch das *Real Time Interface (RTI)* von Interesse. Dabei handelt es sich um eine definierte Schnittstelle für den einfachen Zugriff auf Funktionen von *VNA Tools*. Mit dem RTI kann *VNA Tools* in andere Systeme integriert werden. Das RTI muss separat lizenziert werden. *VNA Tools* und die *UncLib* stellt das METAS kostenlos zur Verfügung und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur verlässlichen Bewertung von Messungen.



Bestimmen von Messgrößen in der Hochfrequenzmesstechnik.

Naturkonstanten statt Urkilogramm: Neue Definitionen für unsere Masseinheiten

Die Einheiten, mit denen wir messen, wie Kilogramm oder Ampere, haben neue Definitionen erhalten. In Zukunft werden sie alle mit Hilfe von Naturkonstanten definiert – auch das Kilogramm, das bis jetzt noch durch ein verkörpertes Referenzmass, das sogenannte Urkilogramm in Paris, definiert war. Das eröffnet nicht zuletzt Möglichkeiten für neue technische Anwendungen.

Ein Kilogramm ist überall ein Kilogramm – für uns ist das heute selbstverständlich. Das war aber nicht immer so. Jahrtausende lang waren unzählige Masseinheiten und Einheitensysteme gleichzeitig nebeneinander im Gebrauch. Die Längeneinheit «Fuss» war zum Beispiel vielerorts verbreitet, aber sie war längst nicht überall gleich lang. Es wurde also oft mit unterschiedlichen Massen und Gewichten gemessen, was etwa beim Handel aber später auch bei der sich entwickelnden industriellen Produktion zu Problemen führte.

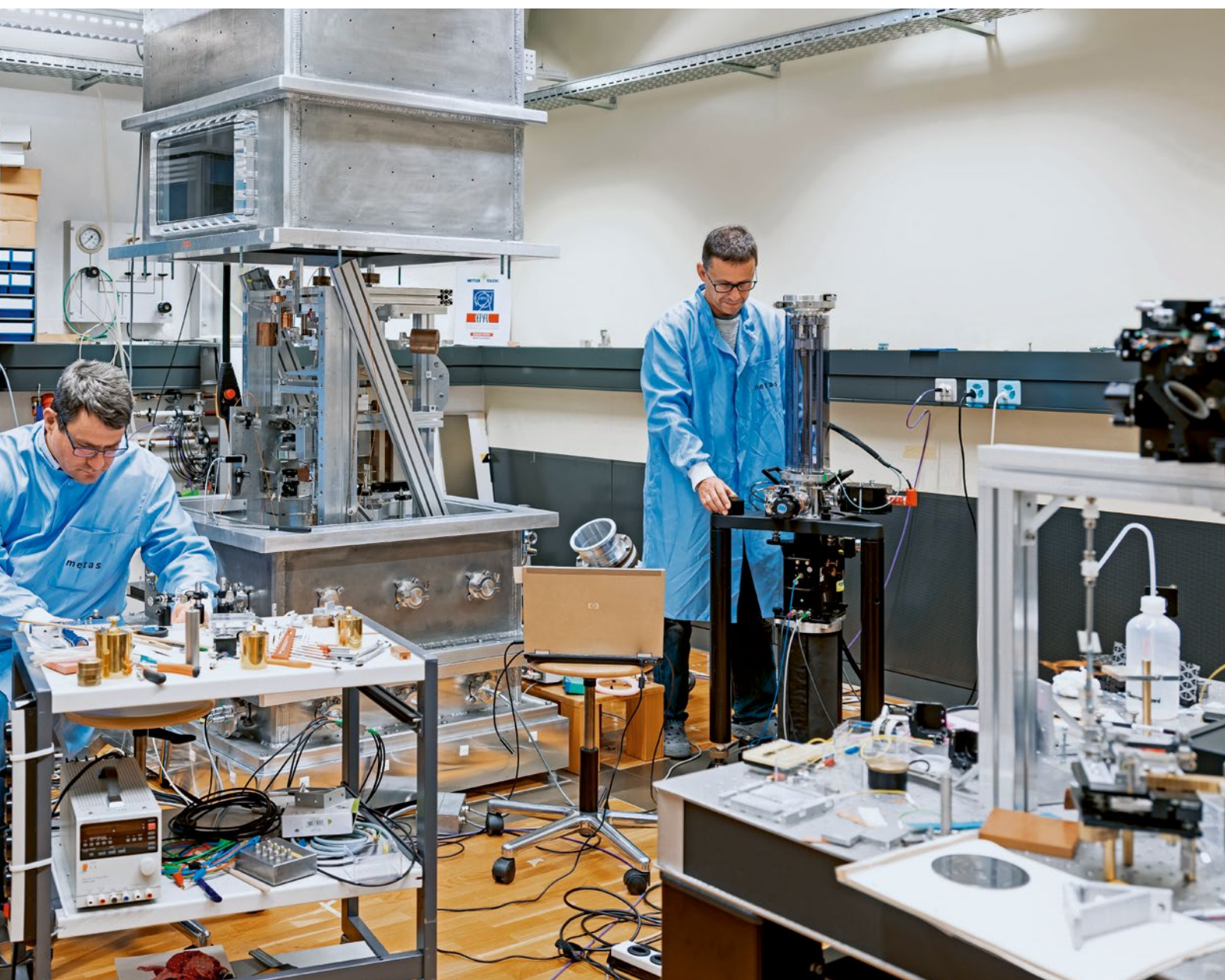
Einen wichtigen Schritt zur Überwindung der Vielfalt von Masseinheiten stellte die Einführung des metrischen Systems in Frankreich gegen Ende des 18. Jahrhunderts dar. Der entscheidende Schritt war die Einführung international anerkannter Masseinheiten mit dem internationalen Metervertrag von 1875. Er bildet die Grundlage für das 1960 eingeführte Internationale Einheitensystem (*Système international d'unités SI*). Das Internationale Einheitensystem (SI) mit Einheiten, wie Kilogramm, Meter, Sekunde, Ampere, Kelvin, Mol und Candela, ist heute die weltweit verbindliche Basis für das Messen.

International abgestimmte messtechnische Infrastruktur

Mit dem Metervertrag wurde nicht nur die Grundlage für das Internationale Einheitensystem (SI) geschaffen, sondern auch eine international abgestimmte messtechnische Infrastruktur. Zur Organisation des Metervertrags gehören unter anderem die *Conférence générale des poids et mesures* und das *Bureau International des poids et mesures* in Paris,

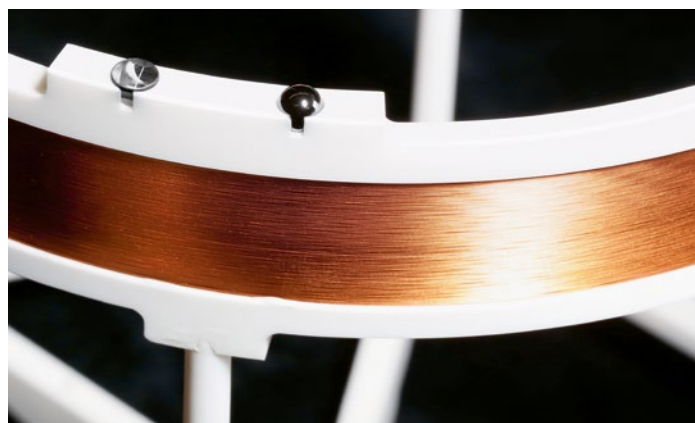


die Geschäftsstelle und Forschungsinstitution des Metervertrags. In den einzelnen Staaten gibt es die nationalen Metrologieinstitute, die an der Spitze der Messgenauigkeit ihres Landes stehen – in der Schweiz das METAS. Mit der Zusammenarbeit zwischen dem METAS, anderen nationalen Metrologieinstituten und den Organen des internationalen Metervertrags kann sichergestellt werden, dass die Referenzmasse der Schweiz international anerkannt sind und mit der erforderlichen Genauigkeit zur Verfügung stehen.



Naturkonstanten als Mass aller Dinge

Wissenschaftlich-technische Entwicklungen können mit der Zeit zu neuen Anforderungen führen, an die ein Einheitensystem angepasst werden muss. Das gilt für die Definition einzelner Einheiten wie auch für das Einheitensystem. So konnte beispielsweise 1960 die Definition des Meters durch den Urmeter von 1889 ersetzt werden durch eine auf eine Wellenlänge, also ein physikalisches Phänomen, gestützte Definition. Das erlaubte es, die Einheit Meter mit höherer Genauigkeit realisieren zu können. Noch höhere Genauigkeit ermöglichte die Definition des Meters mit Bezug auf eine Naturkonstante, die Lichtgeschwindigkeit, die 1983 in Kraft trat.



Experimente zur Realisierung von Masseinheiten.

Im November 2018 ist an der 26. *Conférence générale des poids et mesures* in Versailles eine Überarbeitung des Internationalen Einheitensystems (SI) beschlossen worden, die neue Definitionen für einige Masseinheiten bringt. Künftig werden unsere Masseinheiten auf physikalische Naturkonstanten abgestützt. Das gilt auch für das Kilogramm, das nicht mehr durch den Internationalen Kilogrammprototyp (Urkilogramm) in Paris definiert wird, sondern durch physikalische Naturkonstanten. Damit ist das Kilogramm, wie andere Einheiten auch, nicht mehr von einem lokalen Referenzmass abhängig, sondern universal definiert.

Der Bezug auf Naturkonstanten macht die Einheiten unabhängig von verkörperten Referenzmassen und präzise vorgeschriebenen Realisierungsanweisungen. Neue physikalische Erkenntnisse oder neue Techniken werden in Zukunft eine genauere Realisierung von Einheiten zulassen, ohne dass die Definitionen abgeändert werden müssen. Bessere Einheiten erlauben genauere Messungen und sind damit Voraussetzung für wissenschaftlichen und technologischen Fortschritt auf verschiedensten Gebieten. In diesem Sinn stellt die jetzt beschlossene Revision eine grundlegende Änderung des Einheitensystems dar. Natürlich wurde darauf geachtet, dass sich beim Übergang vom alten zum revidierten System im Alltag nichts ändert – im Alltag wird ein Kilogramm ein Kilogramm bleiben. Die neue Definition des Kilogramms wird jedoch die Grenzen des Machbaren verschieben, da die Einheit viel stabiler sein wird und sich die Genauigkeit von Massebestimmungen parallel zum technischen Fortschritt verbessern wird.

Starke Auswirkungen von Fortschritten in der Metrologie

Aber auch umgekehrt verlangen technologische Fortschritte nach noch genaueren und zuverlässigen Messungen. Was wir nicht messen können, verstehen wir nicht richtig. Fortschritte in der Metrologie haben deshalb eine starke Auswirkung auf unsere Fähigkeit, unsere Umwelt zu verstehen und zu formen und helfen mit, aktuelle und künftige gesellschaftliche Herausforderungen zu meistern sowie die Bedürfnisse der Industrie zu decken.

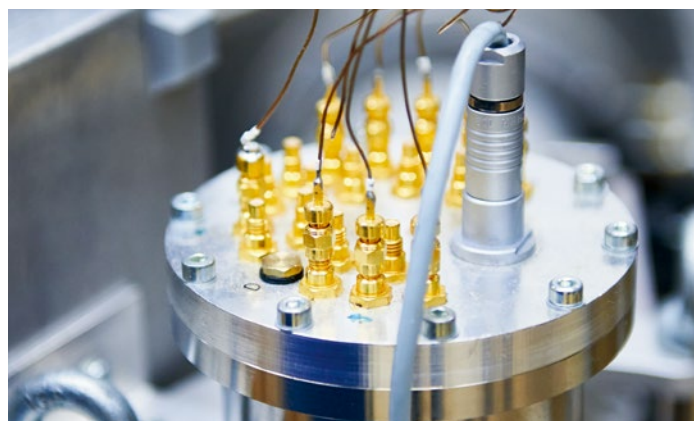
Im Gesundheitsbereich kann Metrologie mit Hilfe von anerkannten Referenzmaterialien und neuen Messmethoden zur Verbesserung der Qualität und Vergleichbarkeit von diagnostischen Resultaten und therapeutischen Ergebnissen beitragen. Die Qualitätskontrolle von Lebensmitteln und Trinkwasser ist auf rückführbare Messungen angewiesen. Für die Klimapolitik ist es essentiell, dass poli-



tische Massnahmen zur Reduktion anthropogener Effekte auf das Klima auf solider Wissenschaft und zuverlässigen Klimamodellen basieren. Dazu ist eine holistische Sichtweise basierend auf vergleichbaren Daten unabdingbar. Die Metrologie kann etwa auch bei der Speicherung und dem Transport von Energie wichtige Beiträge leisten: Die dezentrale und zeitlich fluktuierende Energieeinspeisung, die bei der Nutzung von Solar- und Windstromanlagen anfällt, verlangt eine bessere Überwachung der elektrischen Netze. Metrologie ist notwendig für das Management der Energieflüsse und deren Verrechnung. Für den Verbraucherschutz muss die Qualität der Brennstoffe überprüft werden.



Es bleibt die Aufgabe des METAS und aller anderen nationalen Metrologieinstitute die Grundlagen dafür zu schaffen, dass in so unterschiedlichen Gebieten wie der physikalischen Grundlagenforschung und der Lebensmittelsicherheit die Messgrößen und die Referenzgrößen richtig definiert und die Messungen mit der erforderlichen Genauigkeit erfolgen können.



Experimente zur Realisierung von Masseinheiten.

Messen über die Grenzen hinweg: Internationale Organisationen der Metrologie

Das METAS – und damit die Schweiz – ist in den internationalen Organisationen des Messwesens überdurchschnittlich vertreten. Seine Mitarbeitenden nehmen in diesen Organisationen eine aktive und gestaltende Rolle ein.

Internationale Zusammenarbeit ist auf dem Gebiet der Metrologie unerlässlich. Nur durch sie war es möglich, die Vielzahl nebeneinander existierender Masseinheiten und Einheitensysteme mit regionaler Gültigkeit durch das weltweit gültige internationale Einheitensystem (SI) zu ersetzen. Grundlage des SI ist der Metervertrag, ein internationaler Staatsvertrag aus dem Jahr 1875. Höhepunkt der internationalen Zusammenarbeit in der Metrologie war 2018 die 26. *Conférence générale des poids et mesures*, an der die historisch bedeutsame Revision des SI beschlossen worden ist (vgl. S. 16). Sie fand vom 13. bis 16. November in Versailles statt; Leiter der Schweizer Delegation war der Direktor des METAS.

Grosses Engagement auf internationaler Ebene

Das Engagement der Mitarbeitenden des METAS auf internationaler Ebene ist bedeutsam. In EURAMET, der Europäischen Vereinigung der nationalen Metrologieinstitute, nimmt das METAS eine aktive und gestaltende Rolle ein. Von Juni 2015 bis Juni 2018 hat der Forschungsverantwortliche des METAS EURAMET als Vorsitzender geleitet. Das METAS stellt auch den Vorsitzenden des Technischen Komitees *Metrology in Chemistry*. Der Leiter des Labors Optik ist zum Präsidenten der *Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)*, der internationalen Körperschaft für Normen und Standardisierung auf dem Gebiet der Lichttechnik und der Beleuchtung, gewählt worden. Er wird diese Funktion im Juni 2019 übernehmen. Der stellvertretende Direktor des METAS hat seit 2017 den Vorsitz der WELMEC, der europäischen Vereinigung für gesetzliche Metrologie inne. Der Direktor des METAS ist Mitglied des *Comité international des poids et mesures (CIPM)*.

Diese und weitere Engagements in internationalen Fachorganisationen sind nicht zuletzt Ausdruck davon, dass das METAS und seine Mitarbeitenden international als kompetente und zuverlässige Partner geschätzt werden.



26. Conférence générale des poids et mesures.
Versailles, 16. November 2018.

Messen regeln: Gesetzgebung im Bereich der Metrologie

Die Mitwirkung bei der Vorbereitung von Erlassen im Bereich der Metrologie gehört zu den gesetzlichen Aufgaben des METAS. Im Jahr 2018 bereitete es mehrere Änderungen von Verordnungen vor, die teilweise in diesem Jahr in Kraft traten. Zudem erliess es Weisungen an die Vollzugsorgane des Messgesetzes, die der einheitlichen Anwendung der Vorschriften dienen.

Im Jahr 2018 traten folgende Verordnungsänderungen im Bereich der Metrologie in Kraft:

- Am 1. Oktober: Änderungen der Eichgebührenverordnung. Insbesondere wurden die Gebühren für Messmittel für elektrische Energie und Leistung revidiert, um der zunehmenden Verbreitung von *Smart Meters* Rechnung zu tragen.
- Am 1. Dezember: Änderungen der Verordnung des EJPD über Abgasmessmittel für Verbrennungsmotoren. Die Anforderungen an diese Messmittel wurden in einigen Punkten angepasst.

Ausserdem wurden weitere Verordnungsänderungen vorbereitet. So wurden beispielsweise die interessierten Kreise zu Änderungen der Verordnung über die Mengenangabe im Offenverkauf und auf Fertigpackungen konsultiert.

Weisungen als Instrument der Aufsicht

Nicht immer ergibt sich aus Gesetzen und Verordnungen eindeutig, welche Regeln gelten. In solchen Fällen können Weisungen der zuständigen Behörde die einheitliche Anwendung der Vorschriften sicherstellen. Das METAS übt die Aufsicht über den Vollzug der metrologischen Vorschriften aus und kann in dieser Funktion Weisungen an Vollzugsorgane des Messgesetzes erlassen.

Am 1. Januar 2018 traten neue Weisungen des METAS zu der Verordnung des EJPD über Messmittel für elektrische Energie und Leistung in Kraft. Sie enthalten unter anderem Verbesserungen bei technischen Einzelheiten der Verfahren zur Erhaltung der Messbeständigkeit.



Messung des Partikelaustrittes bei Baumaschinen.

Messmittel konform in Verkehr bringen: METAS-Cert

Mit METAS-Cert verfügt das METAS über eine anerkannte Konformitätsbewertungsstelle für Messmittel. Im Dienste seiner Kunden ist METAS-Cert auf mehreren Kontinenten aktiv.

Wer ein Messmittel auf den Markt bringen will, muss belegen, dass es die vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt. Dazu benötigen Hersteller die Dienste einer unabhängigen im Messwesen spezialisierten Konformitätsbewertungsstelle wie METAS-Cert.

Die 2006 geschaffene Konformitätsbewertungsstelle METAS-Cert ist die von der Schweiz bezeichnete und von der EU anerkannte Konformitätsbewertungsstelle für Messmittel nach EU-Richtlinien. METAS-Cert begleitet die Hersteller im Konformitätsbewertungsverfahren für das Inverkehrbringen ihrer Messmittel und bietet für diese alle vorgesehenen Prüfungsmöglichkeiten an. METAS-Cert ist auf der Datenbank NANDO für EU-Konformitätsbewertungsstellen aufgeführt und kann seine Dienste in der gesamten EU anbieten. Dank dieser Anerkennung kann ein Schweizer Messmittelhersteller seine Produkte mit einer Zertifizierung von METAS-Cert direkt in allen EU Länder in Verkehr bringen. Für die Unternehmen bedeutet das reduzierte Kosten bei gleichzeitigem Zeitgewinn.

Für gesetzlich geregelte Messmitteln gibt es unterschiedliche Verfahren. METAS-Cert bietet nicht nur EU-Konformitätsbewertungen an, sondern auch schweizerische. Es ist auch eine sogenannte VCAP-Auditierungsstelle für den US Markt.

Die internationale Organisation für gesetzliche Metrologie, die *Organisation Internationale de Métrologie Légale* OIML, betreibt das Zertifizierungssystem OIML-CS, dem auch METAS-Cert in mehreren Messmittelkategorien angehört.

Nach erfolgreichem Abschluss einer Konformitätsbewertung wird ein elektronisches Zertifikat für die Bauart, für das Gerät oder für die Organisation ausgestellt.

Herausforderung Smart Meter

METAS-Cert stellt sich immer wieder neuen technischen Entwicklungen und deren Auswirkungen. Aktuell ist es erforderlich, dass intelligente Messsysteme (Smart Meter), im Gegensatz zu herkömm-

lichen Zählern, Anforderungen an Datensicherheit erfüllen müssen. Es besteht die Gefahr, dass die von einem Smart-Meter aufgezeichneten und übermittelten Daten über den Stromverbrauch eines Verbrauchers missbraucht werden können. Um prüfen zu können, ob die Elemente von intelligenten Messsystemen die Datensicherheitsanforderungen erfüllen, baut METAS-Cert derzeit ein Verfahren auf.

Zeit und Wetter werden auch zertifiziert

METAS-Cert inspiziert seit 2013 auch automatische Wetterstationen von MeteoSchweiz und deren Datenlieferanten. Bewertet werden die Einfluss-





faktoren der Umgebung auf die Wetterstationen. Mit diesen Daten kann MeteoSchweiz die Messunsicherheit jeder Station bestimmen und nötigenfalls an der Messstelle vor Ort Korrekturen machen.

Seit 2015 zertifiziert METAS-Cert mechanische Uhren. Die Uhren werden starken Magnetfeldern ausgesetzt und müssen zudem unter verschiedenen Temperaturen, Positionen und Laufreserven immer noch genau die Zeit angeben und bis zur angegebenen Tiefe wasserdicht sein. Nach erfolgreicher Prüfung dürfen diese Uhren die Bezeichnung Master-Chronometer tragen und erhalten dafür ein Zertifikat.



Von METAS-Cert überprüfte Wetterstation.

Messen als Beruf: Das METAS als Arbeitsort

Das METAS ist die messtechnische Schnittstelle von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Es benötigt hochqualifizierte Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer aus den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen. Die Berücksichtigung individueller Bedürfnisse zeichnet das METAS als Arbeitgeber aus.

Am 1. Januar 2013 wurde das frühere Bundesamt für Metrologie zum Eidgenössischen Institut für Metrologie (METAS) umgewandelt mit eigener Rechnung und eigener Rechtspersönlichkeit. Das METAS ist ein eigenständiger Arbeitgeber nach dem Bundespersonalgesetz. Es ist aktuell in drei Abteilungen gegliedert: Die Mitarbeitenden der personell grössten Abteilung *Physik und Chemie* befassen sich mit der technischen Realisierung der Einheiten sowie mit Forschung und Entwicklung. Diejenigen der Abteilung *Gesetzliche Metrologie* ihrerseits sind für den Vollzug der Messmittelgesetzgebung verantwortlich. In der Abteilung *Ressourcen* sind interne Dienstleistungen, wie etwa Finanzen, Informatik oder Technik, zusammengefasst.

Arbeiten am Ort, wo die Schweiz am genauesten misst

Der Arbeitsort METAS ist geprägt von einem hochtechnischen Umfeld und einer hochstehenden Laborinfrastruktur. Das ergibt sich aus dem Auftrag und den Aufgaben, die das METAS als nationales Metrologieinstitut der Schweiz zu erfüllen hat. Im METAS vereinen sich Berufsleute aus allen technischen Ausbildungsrichtungen, die oft in einem hochspezialisierten Feld tätig sind. Die Vielfalt der naturwissenschaftlich-technischen Disziplinen, die am METAS vertreten sind, schafft ein anregendes und anspruchsvolles Arbeitsumfeld. Der Arbeitsort METAS zeichnet sich zusätzlich dadurch aus, dass Möglichkeiten bestehen, bei Forschungsarbeiten und Entwicklungstätigkeiten zum Aufbau neuer Messmöglichkeiten mitzuwirken oder mit Partnern innerhalb der Schweiz wie auch auf internationaler Ebene zusammenzuarbeiten. Zu erwähnen sind auch die intensiven Kontakte zur Industrie sowie die Zusammenarbeit mit Behörden. Zusätzlich engagiert sich das METAS an Austauschprogrammen. Dieses Jahr war beispielsweise im Labor *Masse, Kraft, Druck* eine Wissenschaftlerin aus China zu Gast.



Flexible Arbeitszeitmodelle

Es ist ein Anliegen des METAS, den unterschiedlichen Bedürfnissen seiner Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gerecht zu werden. So werden verschiedene Arbeitszeitmodelle angeboten, damit Beruf und Familie vereinbar sind, aber auch persönliche Interessen verfolgt werden können. Nebst den Möglichkeiten von Homeoffice und Teilzeitarbeit kann auch ein Teil des Lohns als Ferien bezogen werden.



Ein hochtechnisches Umfeld prägt den Arbeitsort METAS.

Soweit, wie vom Betrieb her möglich, auf individuelle Bedürfnisse eingehen zu können, das sehr gute Arbeitsklima, die tiefe Fluktuation bei der Belegschaft sowie das hervorragende Renommee sind einige der Werte, die das METAS als Arbeits- und Anstellungsort auszeichnen und zeigen, dass der Leitsatz der METAS-Kultur «Wir sind das METAS» auch gelebt wird.

Ausbildungsstandort METAS

Das METAS engagiert sich für eine gute Ausbildung angehender Berufsleute. Es bietet verschiedene Berufslernen in technisch-wissenschaftlichen Bereichen (Physiklaborant/in, Chemielaborant/in, Polymechaniker/in, Elektroniker/in, Informatiker/in, Mediamatiker/in), kaufmännische BMS-Praktika sowie eine Reihe von Hochschulpraktika an.

Finanzen

Das Rechnungsjahr 2018 schloss das METAS mit einem Gewinn von 4,3 Millionen Franken ab. Der Aufwand belief sich auf 47,1 Millionen Franken und an Erträgen wurden 51,4 Millionen Franken (inklusive Abgeltungen) erwirtschaftet.

Die Rechnungslegung des METAS erfolgt nach dem Rechnungslegungsstandard der International Public Sector Accounting Standards (IPSAS).

Bilanz

(in Tausend CHF)	31.12.2018	31.12.2017
Aktiven		
Flüssige Mittel	20 202	19 976
Forderungen aus Leistungen	3 000	3 007
Forderungen Forschungsprojekte	2 778	3 599
Übrige Forderungen	110	52
Aktive Rechnungsabgrenzungen	811	731
Umlaufvermögen	26 901	27 366
Sachanlagen	20 923	20 446
Immaterielle Anlagen	2 336	1 931
Anlagevermögen	23 259	22 377
Total Aktiven	50 160	49 743
Passiven		
Verbindlichkeiten aus Lieferungen und Leistungen	1 322	1 280
Verbindlichkeiten Forschungsprojekte	3 930	4 387
Übrige Verbindlichkeiten	1 466	1 051
Passive Rechnungsabgrenzungen	155	244
Kurzfristige Rückstellungen	1 098	878
Kurzfristiges Fremdkapital	7 971	7 840
Rückstellung für Pensionskassenverbindlichkeiten	49 580	44 032
Rückstellungen für Treueprämien	1 467	1 466
Langfristiges Fremdkapital	51 047	45 498
Bilanzverlust	-17 235	-19 152
Kumulierte versicherungsmathematische Verluste/Gewinne	663	10 227
Reserven für Anlagevermögen	3 413	3 413
Gewinn	4 301	1 917
Eigenkapital	-8 858	-3 595
Total Passiven	50 160	49 743

Erfolgsrechnung

(in Tausend CHF)	2018 1.1.2018–31.12.2018	2017 1.1.2017–31.12.2017
Nettoerlös	51 295	48 048
Gewinn aus Verkauf von Anlagevermögen	13	6
Aufwand für Material und Dritteleistungen	–685	–805
Personalaufwand	–31 699	–30 684
Sonstiger Betriebsaufwand	–10 993	–11 298
Abschreibungen	–3 575	–3 357
Betriebsaufwand	–46 267	–45 339
Finanzertrag	61	107
Finanzaufwand	–106	–70
Finanzergebnis	–45	37
Steueraufwand	–10	–30
Gewinn	4 301	1 917

Das METAS konnte im Berichtsjahr seine Tätigkeiten zu 58,0 Prozent (Vorjahr 50,9 Prozent) selbst finanzieren. Zur Selbstfinanzierung trugen Gebühren, Abgeltungen für die Übernahme weiterer Aufgaben und Drittmittel bei.

Die Revisionsstelle hat die Ordnungsmässigkeit der Rechnungsführung vorbehaltlos bestätigt.

Die detaillierte, IPSAS-konforme Jahresrechnung kann auf dem Internetauftritt des METAS heruntergeladen oder beim METAS bestellt werden.

Über das Messen informieren: Publikationen und Vorträge des METAS

Die Tätigkeit in Forschung und Entwicklung schlägt sich auch in den Publikationen und Vorträgen nieder, die METAS Forscher und Forscherinnen veröffentlicht oder gehalten haben.

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des METAS präsentierten auch im Berichtsjahr 2018 die Ergebnisse ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf Fachtagungen, Konferenzen und in wissenschaftlichen Publikationen. Sie arbeiteten in Fachorganisationen und Fachgremien auf nationaler und internationaler Ebene mit und brachten dort ihr Know-how und ihre Erfahrung ein. Sie machten die Metrologie einem breiten Publikum auch ausserhalb des engeren Fachkreises bekannt und engagierten sich in Lehrveranstaltungen für Studierende an Hochschulen.

Messen als Thema

Ein Überblick über die von Mitarbeitenden des METAS veröffentlichten Publikationen und von ihnen gehaltenen Vorträge findet sich am Schluss dieses Kapitels. Eine Reihe von Fachvorträgen wurde zudem im Rahmen von Veranstaltungen im METAS selbst gehalten.

Am METAS wurden sechs spezialisierte Fachtagungen durchgeführt und die Module der Eichmeisterausbildung angeboten.

2018 sind zwei Nummern der Fachzeitschrift für Metrologie «METinfo» erschienen, die das METAS herausgibt und deren Artikel in der Regel von METAS-Mitarbeitenden geschrieben werden. Mehrere «METinfo»-Artikel wurden von Fachzeitschriften verschiedener Gebiete übernommen.

Einblick in die Laboratorien

Wie schon in den letzten Jahren beteiligte sich das METAS am Programm «Mädchen – Technik – Los!» während des nationalen Zukunftstags, der am 8. November 2018 stattfand. Es bot einer Gruppe von Mädchen einen Einblick in die Aufgaben und Tätigkeiten in seinen Labors.

Auch im Berichtsjahr wurden Besichtigungen für Gruppen von Interessierten durchgeführt. Über 30 Gruppen mit insgesamt über 700 Teilnehmerinnen und Teilnehmern nahmen die Gelegenheit wahr, einen direkten Einblick in Laboratorien und in die Entwicklung von Mess-einrichtungen zu erhalten. Besichtigungen ermöglichen es, den Besuchern die Aufgaben und Tätigkeiten des METAS zu veranschaulichen und näher zu bringen.

Publikationen und Vorträge

Die nachfolgende Zusammenstellung enthält eine Übersicht der wichtigsten von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des METAS veröffentlichten Publikationen und der von ihnen gehaltenen Vorträge. Bei der Angabe der Autorinnen und Autoren sind die Namen der METAS-Mitarbeitenden jeweils fett hervorgehoben.

Publikationen

- B. Bircher, F. Meli, A. Küng, R. Thalmann:** *Characterising the Positioning System of a Dimensional Computed Tomograph (CT)*. PTB open access repository (2018) (8 pp.).
- H. Bissig, M. Tschannen, M. de Huu:** *Improving Process Quality by Means of Accurate and Traceable Calibration of Flow Devices with Process-oriented Liquids*. *Chimia*, 72 (2018), pp. 124-129.
- A. Buchter, J. Hoffmann, A. Delvallée, E. Hapiuk, C. Licitra, K. Louarn, A. Arnoult, G. Almuneau, F. Piquemal, M. Zeier, F. Kienberger:** *Scanning microwave microscopy applied to semiconducting GaAs structures*. *Review of Scientific Instruments*, 89, 023704 (2018), pp. 1-6.
- N. Castagna, J. Morel et al.:** *Traceable instruments for Encircled Angular Flux measurements*. *Proc. SPIE*, 10683 (2018) (6 pp.).
- N. Castagna, J. Morel et al.:** *Modelling of standard and specialty fibre-based systems using finite element methods*. *Proc. SPIE*, 10683 (2018) (6 pp.).
- S. Dash, F. Pythoud et al.:** *Method for traceable measurement of LTE signals*. *Metrologia*, 55 (2) (2018), pp. 284-293.
- M. Ess, K. Vasilatou:** *Characterization of a new miniCAST with diffusion flame and premixed flame options: Generation of particles with high EC content in the size range 30 nm to 200 nm*. *Aerosol Science and Technology* (2018), pp. 1-16.

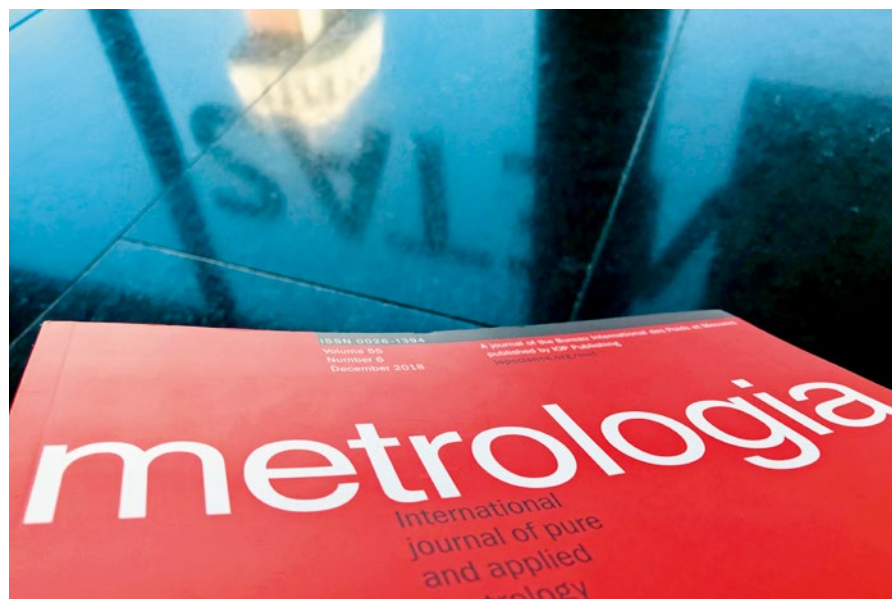
- M. Guillevic, M.K. Vollmer, S.A. Wyss, D. Leuenberger, A. Ackermann, C. Pascale, B. Niederhauser et al.:** *Dynamic-gravimetric preparation of metrologically traceable primary calibration standards for halogenated greenhouse gases*. *Atmos. Meas. Tech.*, 11 (2018), pp. 3351-3372.
- M. K. Vollmer, D. Young, C. M. Trudinger, J. Mühle, S. Henne, M. Rigby, S. Park, S. Li, M. Guillevic et al.:** *Atmospheric histories and emissions of chlorofluorocarbons CFC-13 (CClF₃), ΣCFC-114 (C₂Cl₂F₄), and CFC-115 (C₂ClF₅)*. *ACP Atmospheric Chemistry and Physics*, 18 (2018), pp. 979-1002.
- A. Jallageas, L. Devenoges, M. Petersen, J. Morel, L. G. Bernier et al.:** *First uncertainty evaluation of the FoCS-2 primary frequency standard*. *Metrologia*, 55 (2018), pp. 366-385.
- B. Jeckelmann:** *A milestone in the further development of the International System of Units*. *Swiss physical society SPS*, 56 (2018), pp. 26-29.
- T. S. Carzaniga, N. P. van der Meulen, R. Hasler, C. Kottler, P. Peier et al.:** *Measurement of the ⁴³Sc production cross-section with a deuteron beam*. *Elsevier* (2018), pp. 205-208.
- O. Vaittinen, M. Metsälä, L. Halonen, S. Persijn, D. Leuenberger, B. Niederhauser:** *Effect of moisture on the adsorption of ammonia*. Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature (2018), pp. 1-8.
- C. Mester, J.-P. Braun, C. Ané:** *Einführung in die rückführbare Messung von Power Quality*. *Technisches Messen*, Volume 85 (12) (2018), pp. 738-745.
- A. Nicolet, F. Meli:** *Traceable measurements of rounded cutting tool edges*. PTB open access repository (2018) (8 pp.).
- P. J. Brewer, B. Gieseking, V. F. Ferracci, M. Ward, J. van Wijk, A. M. H. van der Veen, A. A. Lima, C. R. Augusto, S. H. Oh, B. M. Kim, S. Lee, L. A. Konopelko, Y. Kustikov, T. Shimosaka, B. Niederhauser, M. Guillevic et al.:** *International Comparison CCQM-K116*. *IOPscience Metrologia*, 55 (2018), pp. 1-47.
- A. Demichelis, C. Pascale, M. Lecuna, B. Niederhauser et al.:** *Compact devices for generation of reference trace VOC mixtures: a new concept in assuring quality at chemical and biochemical laboratories*. *PubMed* (2018), pp. 2619-2628.
- N. D. C. Allen, D. R. Worton, P. J. Brewer, C. Pascale, B. Niederhauser:** *The importance of cylinder passivation for preparation and long-term stability of multi-component monoterpene primary reference materials*. *Atmos. Meas. Tech.*, 11 (2018), pp. 6429-6438.
- F. Pythoud:** *Proficiency Testing in EMC Radiated Immunity*. *IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility*, Volume PP/Issue 99 (2018), pp. 1-5.
- M. J. van Camp, P. Richard, O. de Viron:** *Universal units reflect their earthly origins*. *EOS Earth & Space Science News*, 99 (2018) (9 pp.).
- Z. Jiang, V. Zhang, Y.-J. Huang, J. Achkar, D. Piester, S.-Y. Lin, W. Wu, A. Naumov, S.-h. Yang, J. Nawrocki, I. Sesia, C. Schlunegger et al.:** *Use of software-defined radio receivers in two-way satellite time and frequency transfers for UTC computation*. *Metrologia*, 55 (2018), pp. 685-698.

R. Thalmann et al.: *Angle comparison using an autocollimator – bilateral follow-up.* Metrologia, 55 (2018), pp. 1-11.

R. Geckeler, A. Just, V. Vasilev, E. Prieto, F. Dvoracek, S. Zelenika, J. Przybylska, A. Duta, I. Victorov, M. Pisani, F. Saraiva, J.-A. Salgado, S. Gao, T. Anusorn, S. L. Tan, P. Cox, T. Watanabe, A. Lewis, K P Chaudhary, R. Thalmann et al.: *Angle comparison using an autocollimator.* Metrologia, 55 (2018), pp. 1-57.

R. Thalmann, A. Küng, A. Nicolet, F. Meli et al.: *Versatile calibration artefact for optical micro-CMMs based on micro-spheres with engineered surface texture.* PTB open access repository (2018), pp. 1-6.

M. Zeier et al.: *Establishing traceability for the measurement of scattering parameters in coaxial line systems.* Metrologia, 55 (2018), pp. 23-36.



Beiträge an Konferenzen und Vorträge

M.-O. André: *Challenges in metrology – From standard metre to immaterial references.* Digital Trust Conference / PriceWaterhouseCooper, Genève, 20.3.2018.

H. Andres: *Messunsicherheit & Konformitätsbewertung Atemalkoholmessmittel.* ZHAW Wädenswil, 4.12.2018.

C. Ané, J.-P. Braun, C. Mester: *Establishing traceability for Flickermeters.* First International Colloquium on Smart Grid Metrology (SmaGriMet), 2018, Split, 27.4.2018.

K. Auderset: *Calibration of optical particle counters.* Clean Zone Frankfurt, 23.10.2018.

K. Auderset, D. Schwaller: *Staubtrockene Fakten.* SVG-Tagung, 30.10.2018.

F. Assi: *Verifications and Simulation for Speed enforcement devices.* Chinese Institutes and Supplier Seminar of speed enforcement devices – NIM China, 13.12.2018.

L.-G. Bernier: *Operation of a time laboratory.* BIPM Capacity Building & Knowledge Transfer, 12–15.2.2018.

L.-G. Bernier: *Action to improve laboratory uncertainty.* BIPM Capacity Building & Knowledge Transfer, 12–15.2.2018.

L.-G. Bernier: *GNNS Time Transfer.* BIPM Capacity Building & Knowledge Transfer, 13–18.5.2018.

H. Bissig, M. Tschannen, M. de Huu: *Traceable response time characterization in fast changing flow rates.* 10th ISSFM, 21–23.3.2018, Queretaro, Mexico.

H. Bissig, M. Tschannen, M. de Huu: *High accuracy testing of drug delivery devices.* Workshop on Nano-Bio Surfaces and Interfaces, 8–9.5.2018, Lausanne.

H. Bissig: *Lowest traceable flow rates in micro fluidics and new measurement possibilities.* PTB Seminar: Metrology in Fluss, 8–9.11.2018, Braunschweig.

P. Blattner: *New CIE Color Fidelity Index.* International Scientific and Technical Conference “Light in Museum”, 18.–20.4.2018, St. Petersburg.

P. Blattner: *Quantifying non-visual effects of lighting.* Integrative Lighting: SSLNet Conference 2018, Toronto, 2.6.2018.

P. Blattner: *CIE Research Strategy (in solid-state lighting).* NSVV national conference on LED solid-state lighting, Eindhoven, 12.6.2018.

P. Blattner: *Quantifying Light and Optical Radiation.* Joint CIE – IAU Discussion and Workshop on Light pollution, Wien, 24.8.2018.

P. Blattner: *On the revision of the SI- and its impact in photometry and radiometry.* Coomet-Workshop, Varadero, 4.9.2018.

P. Blattner: *International Standardization of Light and Lighting.* CIE Tutorial and Practical Workshop on LED Lamp and Luminaire Testing, Moscow, 5.11.2018.

P. Blattner: *Practical Example of Measurement Uncertainty Analysis.* CIE Tutorial and Practical Workshop on LED Lamp and Luminaire Testing, Moscow, 6.11.2018.

P. Blattner: *European regulations and standardization work in the field of light and lighting.* LED Forum, Moskau, 7.11.2018.

C. Blaser: *Kalibrierung von Strahlenschutzmessgeräten – Eine Zusammenarbeit mit dem Kernkraftwerk Mühleberg.* METAS Seminar, 23.5.2018.

J.-P. Braun: *Measure of the absolute phase angle of a power frequency sinewave with respect to UTC.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM 2018, 8.–13.7.2018, Paris, 8.7.2018.

J.-P. Braun, C. Mester: *Metrology for Smart Grids.* First International Colloquium on Smart Grid Metrology SmaGriMet, 2018, Split, 27.4.2018.

A. Buchter: *Electrical Nanometrology at High Frequencies.* METAS Seminar, 17.10.2018.

N. Castagna, J. Morel et al.: *Modelling of standard ans specialty fibre-based systems using finite element methods.* SPIE Photonics Europe, 23.4.2018.

N. Castagna, J. Morel et al.: *Traceable instruments for encircled angular flux measurements.* SPIE Photonics Europe, 24.4.2018.

D. Corminboeuf: *Calibration of the absolute linearity of lock-in amplifiers.* Conference on Precision electromagnetic Measurements (2018).

M. Ess et al.: *Characterization of a New MiniCAST Generator (5201 Type BC) Including Diffusion and Premixed Flame Options.* Hyttialä Summer School, 14.5.2018.

M. Ess et al.: *Characterization of a New MiniCAST Generator (5201 Type BC) Including Diffusion and Premixed Flame Options.* 22nd ETH Conference on combustion nanoparticles, 20.6.2018.

M. Ess et al.: *Characterization of a New MiniCAST Generator (5201 Type BC) Including Diffusion and Premixed Flame Options.* 10th International Aerosol Conference, 6.9.2018.

M. Guillevic et al.: *Metrologically traceable reference gas mixtures at trace levels from $\mu\text{mol/mol}$ (10^{-6}) to pmol/mol (10^{-12}).* Exhalomics Workshop, Zürich, 27.2.2018.

M. Guillevic et al.: *A new method to produce SI-traceable, primary calibration standards for halogenated greenhouse gases.* EGU, Wien, 12.4.2018.

M. Guillevic et al.: *AGAGE58 – 13f. Report on APRECON-GC-quadMS at METAS.* AGAGE 58. Meeting, 12.10.2018.

M. Enge, C. Hof: *Emerging alternative to the well-known LS2P microphones.* IMEKO XXII world congress, 3.-6.9.2018, Belfast, 3.9.2018.

C. Hof: *Metrologie im Bereich Vibration am METAS.* SPEKTRA-Kalibrierseminar, Dresden, 25.10.2018.

C. Hof: *Implementierung der Druckkalibrierung von Laborstandard-Mikrofonen durch die Reziprozitätsmethode am METAS.* SPEKTRA-Kalibrierseminar, Dresden, 26.10.2018.

C. Hof: *Zuverlässige Messungen dank Kalibrierung – auch mit dem Pendelfall-Hammer.* SGA-Herbsttagung, Sursee, 8.11.2018.

J. Hoffmann: *Open Innovation.* EMMT member meeting, Brussels, 11.6.2018.

J. Hoffmann: *Towards High Frequency Power Measurement Using the Electro-Optical Effect.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM, 8.-13.7.2018, Paris, 9.7.2018.

S. Horender: *Investigation of the flow characteristics in an aerosol mixing facility.* Comsol Conference 2018, 23.10.2018.

- S. Horender:** *PM Sensor Kalibrierung mittels realitätsnaher Referenzaerosole – Stand und Ausblick.* Grimm Anwenderseminar, 29.10.2018.
- M. de Huu et al.:** *The European Research Project on Metrology for Hydrogen Vehicles – MetroHyVe.* 10th ISSFM, 21–23.3.2018, Queretaro, Mexico.
- M. de Huu, M. Aeschbacher:** *Performance testing of hydrometric current meters in a wind tunnel – feasibility tests.* 10th ISSFM, 21–23.3.2018, Queretaro, Mexico.
- M. de Huu et al.:** *The European Research Project on Metrology for Hydrogen Vehicles – MetroHyVe.* IMEKO XXII world congress, 3–6.9.2018, Belfast.
- A. Jallageas, J. Morel et al.:** *Wavelength calibration of high-performance spectrometers with a stabilized optical comb from an ultrafast semiconductor disk laser.* CLEO 2018, 15–17.5.2018.
- B. Jeckelmann:** *The revised International System of Units: A new foundation for all measures.* Plenary talk an der Jahrestagung der Schw. Physikalischen Gesellschaft, 28.–31.8.2018, Lausanne, 31.8.2018.
- B. Jeckelmann:** *Das revidierte SI: Hintergründe und wichtigste Änderungen.* METAS Seminar, 6.12.2018.
- B. Jeckelmann:** *Eine koordinierte metrologische Infrastruktur in Europa zum Nutzen von Industrie und Gesellschaft.* Technische Universität, Ilmenau, 12.12.2018.
- K. Draxler, R. Styblíková, J. Hlavacek, G. Rietveld, H. E. van den Brom, M. Schnaitt, W. Waldmann, E. Dimitrov, T. Cincar-Vujovic, B. Pączek, G. Sadowski, G. Crotti, R. Martín, F. Garnacho, I. Blanc, **R. Kämpfer, C. Mester et al.:** *Results of an International Comparison of Instrument Current Transformers up to 10 kA at 50 Hz Frequency.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM, 3–18 July 2018, Paris.
- C. Kottler:** *Applied Radiometry: Calibration of dose calibrators in nuclear medicine application.* Swiss Radiopharmacy Day (SGRRC – SSRRC), 15.3.2018.
- A. Küng:** *A geometry measurement system for a dimensional cone-beam CT.* 8th Conference on Industrial Computed Tomography iCT 2018, Wels, Austria, 8.2.2018.
- A. Küng, B. A. Bircher, F. Meli, R. Thalmann:** *Straightness and index sensor with sub-micron accuracy.* 18th International Conference & Exhibition, euspen 2018, Venice, Italy, 5.6.2018
- D. Leuenberger, M. Guillevic et al.:** *Concepts and challenges in the dynamic generation of SI-traceable nitrogen dioxide reference gas mixtures at ambient amount fractions.* EGU, Wien, 12.4.2018.
- D. Lussi:** *Regelung Hallwilersee.* GITHA, 27.09.2018.
- D. Lussi:** *IoT in der Umweltmesstechnik.* METAS Seminar, 7.11.2018.
- S. Mallia:** *Prozesskontaminanten in Lebensmitteln.* NRL Tagung PAK am METAS, 21.11.2018.
- S. Mallia:** *METAS: Referenzlabor für chemische Elemente.* ERFA Metalle, Amt für Verbraucherschutz Kt. Aargau, 28.8.2018.
- A. Marti, S. Perrin,** zusammen mit Agroscope: *The golden spirit.* Eurosense 2018, Verona, 2.9.2018.
- K. Marti, M. Aeschbacher, S. Russi, C. Wüthrich:** *Micro-force Measurements – a new instrument at METAS.* IMEKO XXII world congress, 3–6.9.2018, Belfast.
- F. Meli, B. A. Bircher, S. Blankenberger, A. Küng and R. Thalmann:** *A cone-beam CT geometry correction method based on intentional misalignments to render the projection images correctable.* 8th Conference on Industrial Computed Tomography iCT 2018, Wels, Austria, 7.2.2018.
- C. Mester:** *The role of national metrology institutes, the international system of units and the concept of traceability.* First International Colloquium on Smart Grid Metrology SmaGriMet, 2018, Split, 27.4.2018.
- C. Mester, J.-P. Braun, C. Ané:** *Messunsicherheit von Power Quality Analysern.* Sensoren und Messsysteme, 27.6.2018.
- C. Mester et al.:** *Sampling AC signals: Comparison of fitting algorithms and FFT.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM, 8.–13.7.2018, Paris, 9.7.2018.
- C. Mester:** *Timestamping type 3458A multimeter samples.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM, 8.–13.7.2018, Paris, 11.7.2018.
- D. Giordano, P. Clarkson, F. Garnacho, H. E. van den Brom, L. Donadio, A. Fernandez-Cardador, C. Spalvieri, D. Gallo, D. Istrate, A. De Santiago Laporte, A. Mariscotti, **C. Mester et al.:** *Accurate Measurements of Energy, Efficiency and Power Quality in the Electric Railway System.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM, 3.–13.7.2018, Paris.
- B. Niederhauser:** *Kleine Gasflüsse: Erstellen der Rückführbarkeit und deren Weitergabe.* Seminar «Messen, regeln, mischen und generieren von geringen Gasflüssen», Olten, 7.6.2018.
- F. Overney:** *Characterization of a Dual Josephson Impedance Bridge.* CPEM 2018, 8.–13.7.2018, Paris.
- A. H. Pacheco: *Frequency dependence evaluation of CENAM calculable resistors.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM 2018, 8.–13.7.2018, Paris.
- F. Pythoud:** *An overview of radiated EMC.* SwissT.net, Fachtagung EMV und Funk, Zürich, 18.1.2018.
- F. Pythoud: *Einführung in die EMV / Introduction à la CEM.* Internationale Organisation für das Seilbahnwesen, Brunnen/Stoos, 20.3.2018.
- F. Pythoud:** *Proficiency Testing.* 53. Sitzung der PEGESS, Biel, 14.3.2018.
- T. Le Quang:** *Cosmol Simulations for Scanning Microwave Microscopy.* Cosmol Conference, Lausanne, 22.10.2018.
- S. Reimann, **M. Guillevic et al.:** *Measurement of F-gases and OVOCs: a need for traceable, high-accuracy standards in climate and air pollution research.* Workshop call Environment, Paris, 24.10.2018.
- M. Delaval, D. Egli, H.R. Jonsdottir, **P. Schüpfer, N. Baumlín, M. Salathe, H. Burtscher, und M. Geiser:** *Evaluating adverse effects of aerosols from different e-cigarettes to airway epithelia by realistic in vitro technologies.* ATS 2018, San Diego, 18.5.2018.
- P. Schüpfer:** *Analyse des HAP dans les revêtements de surface.* Tagung PAK am METAS, 20.11.2018.
- D. Stalder:** *Primary Noise Temperature Calibration Based on RF Power.* Keysight Metrology Workshop, Paris, 5.7.2018.
- F. Stuker:** *Messen und Beurteilen von gesundheitlichen Effekten von Displays.* Licht 2018, Davos, 11.09.2018.
- F. Stuker:** *Optische Messtechnik am METAS.* NTB Photonik Kolloquium, Buchs, 27.11.2018.
- E. Tas, F. Pythoud, B. Mühlemann:** *Design of a Reference Device for Surge Immunity Interlaboratory Comparison.* EMC EUROPE, 27.–30.8.2018, Amsterdam, The Netherlands, 28.8.2018.
- R. Thalmann:** *Fundamental principles of dimensional metrology.* EURAMET training course, 12.–13.9.2018, Montenegro.
- R. Thalmann:** *Calibration of gauge blocks by mechanical comparison.* EURAMET training course, 12.–13.9.2018, Montenegro.
- K. Thodkar:** *Observation of high accuracy resistance quantization in CVD graphene.* Conference on Precision Electromagnetic Measurements CPEM 2018, 8.–13.7.2018, Paris.
- M. Tschannen:** *Messanlage zur Prüfung von Wasserstoff-Zapfsäulen.* METAS Seminar, 29.8.2018.
- K. Vasilatou et al.:** *Metrology for light absorption by atmospheric aerosols: the EMPIR Black Carbon project.* 22nd ETH Conference on combustion nanoparticles, 20.6.2018.
- K. Vasilatou et al.:** *Laboratory-generated coated soot aerosols with tunable physical, chemical and optical properties using a CAST generator and a portable Micro Smog Chamber.* 10th International Aerosol Conference, 6.9.2018.
- M. Zeier:** *Software zur Bestimmung der Messunsicherheit.* PTB-Seminar, Berechnung der Messunsicherheit – Empfehlungen für die Praxis, Berlin, 16.3.2018.
- M. Zeier:** *Embedded Metrology Software.* VDI/VDE GMA FA1.11, Erlangen, 25.6.2018.

