



METinfo

*Zeitschrift für Metrologie / Journal de métrologie
Rivista di metrologia / Journal of Metrology*

3/2009



«Ich befasse mich auf jeden Fall
gerne mit Fragen der Metrologie»

Achtung: Laserstrahlung!

METAS-Gaszählerprüfstand
international erfolgreich evaluiert

Kompetenz bei der Messung
von giftigem Kohlenmonoxid nachgewiesen

Oberflächenanalyse
an Avogadro-Kugeln durchgeführt



METinfo

Zeitschrift für Metrologie, Vol. 16, 3/2009
Journal de métrologie, Vol. 16, 3/2009
Rivista di metrologia, Vol. 16, 3/2009
Journal of Metrology, Vol. 16, 3/2009
25.11.2009

Herausgeber/Éditeur/Editore/Publisher

Bundesamt für Metrologie METAS
Office fédéral de métrologie METAS
Ufficio federale di metrologia METAS
Federal Office of Metrology METAS
Lindenweg 50, CH-3003 Bern-Wabern
Tel. +41 31 32 33 111, Fax +41 31 32 33 210
www.metas.ch

Redaktionsleitung/Rédacteur responsable/ Redattore-capo/Editor-in-Chief

Christian Antener
Tel. +41 31 32 33 489
christian.antener@metas.ch

Redaktion/Rédaction/Redazione/ Editorial Board

Dr. Hans-Anton Ebener, Dr. Jacques Morel,
Dr. Jürg Niederhauser, Dr. Philippe Richard,
Dr. Markus Zeier

Bildnachweis/Photos/Fonte delle immagini/Pictures

Hans Lehmann, METAS, CH-3003 Bern-Wabern
Albert Zimmermann/Schindler

Hinweis/Remarque/Nota/Note

Die enthaltenen Beiträge müssen nicht notwendigerweise mit der Auffassung des Eidgenössischen Justiz- und Polizeidepartements (EJPD) oder des Bundesamts für Metrologie (METAS) übereinstimmen.

Les contributions publiées ne correspondent pas nécessairement à l'avis du Département fédéral de justice et police (DFJP) ou de l'Office fédéral de métrologie (METAS).

I contributi pubblicati non corrispondono necessariamente all'opinione del Dipartimento federale di giustizia e polizia (DFGP) o a quella dell'Ufficio federale di metrologia (METAS).

The published contributions do not necessarily need to agree in opinion with either the Federal Department of Justice and Police (FDJP) or the Federal Office of Metrology (METAS).

Copyright

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet, Belegexemplar erwünscht
Reproduction autorisée avec indication de la source, justificatif souhaité
Riproduzione con indicazione delle fonti ammessa, auspicato un esemplare
Reproduction allowed under indication of source, copy of reprint desired

Administration

ISSN 1660-4733
ISSN 1660-6094 (Online-Edition)
11.09 4'500 860 217 075

Am 20. August 2009 besuchte Frau Bundesrätin Eveline Widmer-Schlumpf, Vorsteherin des Eidgenössischen Justiz- und Polizeidepartements, zum zweiten Mal das Bundesamt für Metrologie (METAS). Siehe Interview auf Seite 4.

Le 20 août 2009, Madame la Conseillère fédérale Eveline Widmer-Schlumpf, cheffe du Département fédéral de justice et police, a visité pour la deuxième fois l'Office fédéral de métrologie (METAS). Voir l'entretien à la page 4.

Il 20 agosto 2009, la consigliera federale Eveline Widmer-Schlumpf, capo del Dipartimento federale di giustizia e polizia, ha visitato per la seconda volta l'Ufficio federale di metrologia (METAS). Vedere l'intervista a pagina 4.

On 20 August 2009, Federal Councillor Eveline Widmer-Schlumpf, Head of the Federal Department of Justice and Police, returned for a second visit to the Federal Office of Metrology (METAS). See interview on page 4.



Lasershowanlage
Laser de spectacle

- 02 Editorial
- 04 Das Interview
«Ich befasse mich auf jeden Fall gerne mit Fragen der Metrologie»
- 07 Radiometrie
Achtung: Laserstrahlung!
- 14 Messvergleich *Gasmengenmessung*
METAS-Gaszählerprüfstand international erfolgreich evaluiert
- 17 Messvergleich *Kohlenmonoxid*
Kompetenz bei der Messung von giftigem Kohlenmonoxid nachgewiesen

- 20 Measurement Comparison *Aerosols*
EURAMET Inspired by Particles
- 24 Measurement Comparison *Radio Frequencies & Microwaves*
Quality of METAS' Scattering Parameters in the Type-N Line System
- 26 Neudefinition *Kilogramm*
Oberflächenanalyse an Avogadro-Kugeln durchgeführt
- 28 Zeit- und Frequenzverbreitung
Der Betrieb des Zeitzeichensenders HBG wird auf Ende 2011 eingestellt
- 30 Distribution de l'heure et de la fréquence
L'émetteur de signaux horaires HBG sera mis hors service fin 2011
- 32 Strassenverkehr
Fachbroschüre *Verkehrsmesstechnik*



METAS-Autosampler



Avogadro-Kugel
Sphère Avogadro

Liebe Leserin, lieber Leser,

In Anbetracht des reich gefüllten Termin- und Geschäftskalenders ist es alles andere als selbstverständlich, dass eine Bundesrätin sich mehrere Stunden Zeit nimmt, um ein Bundesamt zu besuchen, sich zwanglos unter die Belegschaft zu mischen und auf gleicher Augenhöhe mit dem Personal Gedanken, Meinungen und Ideen auszutauschen. Am 20. August hat METAS erneut Frau Bundesrätin Widmer-Schlumpf empfangen dürfen. Dass sie die Aufgaben und die volkswirtschaftliche Bedeutung ihres Amtes bereits sehr gut kennt und klare Visionen zur weiteren Entwicklung hat, geht aus dem Interview auf Seite 4 hervor.

Eine der Hauptaufgaben von METAS ist es, Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft mit international harmonisierten Referenzmassen zu versorgen. Ein Element dazu sind Messvergleiche unter staatlichen Metrologieinstituten. Bei diesen Vergleichen geht es darum, die Messeinrichtungen miteinander zu vergleichen und damit sicherzustellen, dass die angegebenen Messunsicherheiten stimmen und keine unentdeckten Fehler in den Systemen und Verfahren stecken. Mit diesen Messeinrichtungen kalibrieren die Metrologieinstitute schliesslich die Geräte ihrer Kunden und unterhalten damit ein weltumspannendes, kohärentes System international überprüfter Referenzmasse.

In der vorliegenden Ausgabe wird gleich über mehrere Messvergleiche berichtet, die in den letzten Jahren durchgeführt und abgeschlossen wurden. Dass über alle Messgrössen und -parameter nur sehr grobmaschig Vergleiche durchführbar sind, ersehen Sie aus dem Bericht zum Vergleich der Streuparameter (Seite 24). Auch so füllt die Menge der anfallenden Ergebnisse bereits ein dickes Buch!

Es ist der Sinn solcher Messvergleiche, Messverfahren und Werte zu prüfen, die typisch für das entsprechende Fachgebiet sind. Man geht schliesslich davon aus, dass Laboratorien, welche diese Vergleiche erfolgreich bestehen, auch alle anderen Referenzwerte in ihrem Fachgebiet richtig erzeugen. Solche Vergleiche werden international deshalb als «Schlüsselvergleich» oder «key comparison» bezeichnet, weil sie den Schlüssel zum Nachweis der deklarierten Genauigkeit eines Referenzlaboratoriums darstellen. Die Beschränkung auf solche Schlüsselvergleiche erlaubt es, den Aufwand trotz der Fülle von Messgrössen und Skalenlängen auf einem wirtschaftlich tragbaren Mass zu halten.

Ich wünsche ihnen bei der Lektüre ein paar «Schlüssel-erkenntnisse».

Chère lectrice, cher lecteur,

Au vu de son agenda bien rempli, il est tout sauf naturel qu'une Conseillère fédérale passe plusieurs heures à visiter un Office fédéral, se mêlant en toute simplicité au personnel et échangeant avec eux des pensées, des opinions et des idées d'égal à égal. Le 20 août, METAS a eu le plaisir de recevoir à nouveau Madame la Conseillère fédérale Widmer-Schlumpf. L'entretien de la page 4 montre qu'elle connaît déjà très bien les missions et l'importance politico-économique de son service et qu'elle a des idées précises pour continuer à le développer.

Une des tâches principales de METAS est de fournir à l'économie, à la recherche et à la société des mesures de référence reconnues à l'échelle internationale. Les comparaisons de mesure entre les instituts nationaux de métrologie sont une composante de cette mission. Le but de cette démarche est de comparer entre eux les dispositifs de mesure et de garantir, par là, l'exactitude des incertitudes de mesure indiquées et de s'assurer que les systèmes et les processus ne contiennent aucune erreur. Ces dispositifs de mesure permettent aux instituts de métrologie d'étalonner les appareils de leurs clients et, ainsi, d'entretenir un système cohérent et universel de mesures de référence reconnues dans le monde entier.

Cette édition présente plusieurs comparaisons de mesure qui ont été effectuées et achevées ces dernières années. Le rapport portant sur la comparaison des paramètres de répartition (page 24) vous montre que les comparaisons entre toutes les grandeurs et tous les paramètres de mesure ne peuvent être exécutées que de manière très approximative. Même ainsi, la quantité de résultats générés remplit déjà un livre entier !

Le but de ces comparaisons de mesure est de contrôler les processus de mesure et les valeurs caractéristiques pour le domaine technique correspondant. On estime que les laboratoires qui réussissent ces comparaisons, fournissent aussi avec exactitude toutes les autres valeurs de référence dans leur discipline. Dans le monde entier, ces comparaisons sont appelées « comparaison clé » ou « key comparison », parce qu'elles constituent le moyen de prouver la précision déclarée d'un laboratoire de référence. Se limiter à ces comparaisons clés permet de maintenir les dépenses à un niveau raisonnable, et ce malgré la multitude de grandeurs de mesure et de longueurs d'échelle.

J'espère que la lecture vous permettra d'intégrer quelques « connaissances-clés ».



Cara lettrice, caro lettore,

Tenuto conto dell'agenda sovraccarica non è per nulla scontato che una consigliera federale dedichi parecchie ore alla visita di un Ufficio federale, si ritrovi a colloquiare in modo informale con i dipendenti, e scambi opinioni e idee a quattr'occhi con il personale. Il 20 agosto, il METAS ha avuto nuovamente l'opportunità di ricevere la Consigliera federale Widmer-Schlumpf. L'intervista pubblicata a pagina 4 mostra che la signora Widmer-Schlumpf conosce già molto bene i compiti e l'importanza economica dell'Ufficio che presiede, e che ha visioni chiare in merito al suo ulteriore sviluppo.

Uno dei compiti principali del METAS è quello di fornire all'economia, alla ricerca e alla società le unità di riferimento riconosciute a livello internazionale. A ciò si aggiungono inoltre le misurazioni comparative tra gli istituti statali di metrologia. Nel caso di queste misurazioni comparative si tratta di paragonare tra loro i dispositivi di misura e di assicurarsi con ciò che le incertezze di misurazione indicate siano esatte, e che i sistemi e i procedimenti non occultino errori. Con questi dispositivi di misurazione gli istituti di metrologia tarano infine gli apparecchi dei loro clienti, e gestiscono in tal modo un sistema coerente e globale di unità di riferimento controllate a livello internazionale.

Nella presente edizione viene riferito in merito a varie misurazioni comparative, che sono state eseguite e concluse negli ultimi anni. Dal rapporto sul confronto dei parametri di diffusione (pagina 24) risulta che su tutte le grandezze e tutti i parametri da misurare si possono fare confronti solo in modo molto indicativo. Anche così la quantità dei risultati ottenuti riempie già un grosso libro!

Lo scopo di tali misurazioni comparative è quello di verificare i metodi di misura e i valori, che sono tipici del rispettivo ramo di specializzazione. Si parte infine dal presupposto che i laboratori che superano con successo questi confronti generino correttamente anche tutti gli altri valori di riferimento nel loro ramo di specializzazione. Internazionalmente tali confronti vengono pertanto denominati «confronto chiave» o «key comparison», poiché essi costituiscono la chiave per provare l'esattezza dichiarata di un laboratorio di riferimento. Il fatto di limitarsi a tali confronti chiave consente di mantenere il dispendio entro limiti economicamente sostenibili, nonostante la gran quantità di grandezze da misurare e di lunghezze delle scale.

Le auguro di poter trarre leggendo un paio di «conclusioni chiave».

Dear Reader,

One would hardly expect a Swiss Federal Councillor with a schedule filled with appointments and business commitments to spend several hours visiting a Federal Office, mixing informally with staff, and exchanging thoughts, opinions and ideas on equal terms with the personnel. However, on 20 August METAS had the pleasure once again to welcome Federal Councillor Widmer-Schlumpf. The interview on page 4 shows that she is already well aware of her office's duties and economic importance and has clear visions for its future development.

One of the main functions of METAS is to provide internationally recognised reference measures for industry, research and society at large. Comparing measurements between national metrology institutes is one element of this work. These comparisons involve studying the different measuring devices in order to ensure that the specified measurement uncertainties agree and there are no undetected errors in the systems and methods. The metrology institutes ultimately use these measuring devices to calibrate their customers' equipment, thereby maintaining a global, coherent system of internationally verified reference measures.

The present issue contains reports on various measurement comparisons that have been performed and finalised in recent years. A report comparing scattering parameters on page 24 reveals that only very rough comparisons are possible across all measurands and measurement parameters. Nevertheless, it already takes a large log to hold the results accumulated in the process!

The objective of all of these comparisons is to check the measurement techniques and values that are typical for a given technical area. At the end, one can assume that laboratories which successfully undergo these comparisons are properly generating all of the other reference values in their technical area, too. On the international level, these tests are known as key comparisons since they provide the key to verifying a reference laboratory's declared accuracy. By restricting efforts to these key comparisons, it is possible to keep costs down to an economically sustainable level despite the large quantity of measurands and scale lengths.

I hope you will enjoy some «key insights» while reading this issue.

Dr. Ulrich Feller
Stellvertretender Direktor / directeur suppléant /
direttore supplente / Deputy Director

«Ich befasse mich auf jeden Fall gerne mit Fragen der Metrologie»

Am 20. August hat Frau Eveline Widmer-Schlumpf, die Vorsteherin des Eidgenössischen Justiz- und Polizeidepartements (EJPD), das Bundesamt für Metrologie (METAS) besucht. METinfo nutzte diese Gelegenheit, um der Departementsvorsteherin einige Fragen zu stellen zur Beurteilung der Metrologie und des nationalen Metrologieinstituts aus der Sicht der politischen Führung.

CHRISTIAN BOCK, JÜRIG NIEDERHAUSER

METinfo: Frau Bundesrätin, das EJPD befasst sich hauptsächlich mit Fragen der Justiz, der Polizei und der Migration. Ist METAS in diesem Departement überhaupt am richtigen Ort?

Frau Bundesrätin Eveline Widmer-Schlumpf: Aber sicher! Schliesslich stellen die Tätigkeiten auf dem Gebiet der gesetzlichen Metrologie wesentliche Aufgaben von METAS dar. Die Frage, in welchem Departement das nationale Metrologieinstitut anzusiedeln ist, sollte aber nicht überbewertet werden. METAS könnte prinzipiell, wie das vor Jahrzehnten der Fall war, auch einem anderen Departement angegliedert sein. Ich befasse mich auf jeden Fall gerne mit Fragen der Metrologie, auch wenn mir dieses Gebiet bis vor Kurzem noch unbekannt war. Jedes Mal, wenn sich mir die Gelegenheit bietet, einen Einblick in die Tätigkeiten der Labors des METAS zu erhalten, bin ich fasziniert.

Was ist METAS eigentlich: ein metrologisches Forschungsinstitut, ein nationales Eichamt oder eine staatliche Kalibrierstelle?

Wenn METAS ein reines Forschungsinstitut wäre, dann wäre es im EJPD am falschen Ort. Dann müssten wir uns eine Integration in den ETH-Bereich überlegen. Aber die jeweiligen Aufträge sind ja ganz anders: Während METAS aufgrund klar definierter gesetzlicher Aufgaben die Sicherstellung metrologischer Dienstleistungen in der für die Wirtschaft und Gesellschaft erforderlichen Genauigkeit sowie die Aufsicht über den Vollzug des gesetzlichen Messwesens obliegen, stehen etwa bei der ETH-Forschungsanstalt EMPA Forschung und Lehre im Bereich der Materialwissenschaften im Zentrum ihres Auftrags. METAS verfügt über einen klar anwendungsorientierten und keinen übergeordneten Forschungsauftrag. Es hat in erster Linie die Einheitenweitergabe sicherzustellen und das Eichwesen in der Schweiz zu garantieren. Die zugehörige Forschung ist notwendig für das Erbringen dieser metrologischen Dienstleistungen, aber sie ist kein Selbstzweck. Wäre METAS ein reines Eichamt, so wäre es wohl angebrachter, METAS als Abteilung ins Bundesamt für Justiz oder allenfalls ins Staatssekretariat für Wirtschaft einzugliedern.

Bei einer reinen Kalibrierstelle müssten wir uns die Frage stellen, ob dies überhaupt noch eine staatliche Aufgabe wäre. METAS als nationales Metrologieinstitut stellt die Verbindung der drei Tätigkeiten im Interesse der metrologischen Infrastruktur unseres Landes dar.

Bleiben wir zunächst bei der gesetzlichen Metrologie, dem Aufgabengebiet von METAS, das den stärksten Bezug zu den Kernaufgaben des Departements hat: Vor drei Jahren ist ja für Messmittel mit der Messmittelrichtlinie der EU respektive der schweizerischen Messmittelverordnung das Neue und Globale Konzept der EU mit harmonisierten Richtlinien eingeführt worden. War das eigentlich ein Erfolg?

Wie so oft zeigt ein genauer Blick auf eine Massnahme sowohl Licht- wie auch Schattenseiten. Positiv ist, dass Messmittel von Schweizer Herstellern einfacher ins europäische Ausland exportiert werden können. Es stellt eine Vereinfachung dar, wenn ein Konformitätsbewertungsverfahren in ganz Europa gilt. Weil nationale Zulassungen entfallen, sind Gebührenbelastungen gesunken.

Dagegen zeigen sich klare Nachteile im Vollzug der Kontrollen im gesetzlichen Messwesen. Nacheichungen sind für die kantonalen Eichmeister schwieriger geworden, denn für die Messmittelkategorien, bei denen keine nationalen Zulassungen für die Schweiz mehr erforderlich sind, bestehen keine Eichanleitungen mehr. Im METAS erhalten Sie diese Messgeräte ja nicht mehr für eine Zulassungsprüfung.

Die europäische Messmittelrichtlinie enthält auch Anforderungen an Taxameter und Kaltwasserzähler. In der Schweiz sind diese Messmittel nicht geregelt. Sollten sie auch bei uns der Eichpflicht unterstellt werden?

Die Eichpflicht ist eine Einschränkung der Eigentumsfreiheit. Eine solche Einschränkung darf nur vorgenommen werden, wenn gute Gründe dafür sprechen. Es gilt wie bei allem staatlichen Handeln das Subsidiaritätsprinzip: Wenn andere, weniger einschneidende Methoden zum gleichen Resultat führen, sollte man diese wählen. Die Tatsache, dass derartige Messmittel in anderen Staaten der Eichpflicht unterstehen, ist allein noch kein Argument dafür, sie auch in der Schweiz gesetzlich zu regeln. Bedenklich ist aber, wenn statt der Eichung teilweise auf Branchen-Zertifizierungen ausgewichen wird, und so die europäische Produktkompatibilität nicht erreicht wird.

Das Thema «Mogelpackungen» tauchte in letzter Zeit immer wieder in den Medien auf. Besteht hier Handlungsbedarf?

Die Frage wird genauer zu prüfen sein. Als Konsumentin ist für mich jedenfalls nicht einsichtig, warum für Preisbekanntgabe und Mogelpackungen unterschiedliche Vollzugs-Regelungen gelten.



In Deutschland diskutiert der Gesetzgeber eine Neuordnung des gesetzlichen Messwesens. Unter anderem wird auch dessen Privatisierung diskutiert. Wäre dies auch eine Option für die Schweiz?

Die Schweiz kann die Entwicklung im Ausland nicht ignorieren. Aber genauso wenig müssen wir eine Angleichung vornehmen nur um der Angleichung ans Ausland willen. Wichtig ist, dass wir über gleich lange Spiesse verfügen. Wenn die neue Dienstleistungsrichtlinie der EU dazu führen sollte, dass ausländische Eichmeister in der Schweiz tätig werden könnten, muss für unsere Eichmeister Gegenrecht gelten.

Wie sieht es überhaupt mit der Zukunft der kantonalen Kompetenzen im Messwesen aus?

Die gesetzliche Grundlage ist klar: Gemäss unserer Bundesverfassung ist die Gesetzgebung auf dem Gebiet des Messwesens Sache des Bundes, der Vollzug der Gesetzgebung liegt grundsätzlich bei den Kantonen. Als ehemalige Regierungsrätin ist es für mich selbstverständlich, dass, wenn neue Anforderungen kommen, sich die Kantone zunächst mal die Frage stellen müssen, wie sie diese bewältigen können. Für den Vollzug im gesetzlichen Messwesen wird sicher zu überlegen sein, ob nicht vermehrt eine interkantonale Zusammenarbeit angebracht wäre. Die Schaffung von regionalen Kompetenzzentren für Metrologie anstelle von kantonalen Eichämtern würde eine stärkere Spezialisierung ermöglichen. Diese könnte für effizientere Kontrollen genutzt werden.

Wenn es keine Lösung durch die Kantone gibt, dann wird METAS tätig – so wie das beispielsweise zu Beginn des 20. Jahrhunderts mit der Schaffung von Eichstellen für Elektrizitäts-, Gas- und Wärmehähler der Fall war.

Von den Kantonen zur internationalen Zusammenarbeit: In der Metrologie ist internationale Zusammenarbeit nicht nur wichtig, sondern Voraussetzung für einheitliche Masse und weltweit anerkannte und vergleichbare Messresultate. Worin sehen Sie die Rolle der beiden internationalen Organisationen: der Meterkonvention mit dem Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) und der Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML)?

Warum gibt es internationale Organisationen und warum treten Staaten an diese Souveränitätsrechte ab? Weil Staaten der Überzeugung sind, dass gewisse Fragen international besser gelöst werden können. Das ist auf dem Gebiet der Metrologie ganz besonders der Fall – Sie haben ja schon darauf hingewiesen: Nur so kann gewährleistet werden, dass wir überall auf der Welt mit gleichen Massen messen. Dies sicherzustellen, genau darin liegt die Aufgabe beider Organisationen. Was die Geschäftsführung betrifft, erwartet die Schweiz von den internationalen Organisationen auf dem Gebiet der Metrologie das, was sie von jeder internationalen Organisation, der sie angehört, erwartet: Die strikte Befolgung der Grundsätze einer Good Governance, finanziell schlanke Strukturen, effiziente Organisation und Vermeiden von Doppelspurigkeiten.

Von dem Gesichtspunkt aus ist sicher auch eine Fusion der zwei internationalen Organisationen auf dem Gebiet der Metrologie etwas, das genauer geprüft werden sollte.

Es bestehen Pläne, das internationale Einheitensystem neu zu definieren. Was ist die Haltung der Schweiz zu einer neuen Definition der Einheiten?

Entscheidend ist einzig, ob Wirtschaft oder Wissenschaft eine Neudefinition einer Einheit oder gar des ganzen Einheitensystems benötigen. Ob die aktuelle Definition einer Einheit für eine spezialisierte Arbeitsgruppe von Metrologen, die sich seit Jahren mit Definitionen von Einheiten befassen, unbefriedigend ist, kann noch kein Argument für die Einführung neuer Definitionen sein.

Welches sind aus Ihrer Sicht die Herausforderungen, denen sich METAS, das nationale Metrologieinstitut der Schweiz, in naher Zukunft zu stellen hat?

Es ist damit zu rechnen, dass die europäische Messmittelrichtlinie auf die allermeisten Messmittel ausgedehnt wird, bis auf wenige Ausnahmen in Gebieten, die rein national von Bedeutung sind. Im Interesse eines schlanken Staates sollte METAS auch Kooperationen mit privaten Partnern eingehen können. Vor allem muss METAS gewappnet sein, der Konkurrenz durch andere nationale Metrologieinstitute begegnen und standhalten zu können. Klar ist auch, dass die industrielle Metrologie für die Wirtschaft unseres Landes arbeitet und eng an diese angelehnt sein soll.

Das Europäische Metrologie-Forschungs- und Entwicklungsprogramm (EMRP) gehört sicher auch zu den Herausforderungen?

Auf jeden Fall. Um den zunehmenden Bedarf an Forschung und Entwicklung für die Bereitstellung der metrologischen Grundlagen und damit der metrologischen Infrastruktur abzudecken, wirkten die miteinander zusammenarbeitenden nationalen Metrologieinstitute in Europa auf die Einrichtung eines gemeinsamen europäischen Metrologie-Forschungs- und Entwicklungsprogramms hin. METAS und vergleichbare nationale Metrologieinstitute in Europa hatten sich vermehrt mit der Schwierigkeit konfrontiert gesehen, in neuen Gebieten wie Nano- oder Biotechnologie die notwendige kritische Masse für die Erarbeitung der metrologischen Grundlagen zu erreichen. Zudem sind zunehmend Ansprüche aus Gebieten wie Chemie, Medizin, Lebensmittelsicherheit und Umweltschutz entstanden, die zwar nicht neu sind, wo aber die Metrologie zunehmend an Bedeutung gewinnt. Schliesslich gilt es, die etablierte Wirtschaft zu unterstützen, die sich im rasch wandelnden Umfeld manchen metrologischen Herausforderungen gegenüber sieht.

Eine erfolgreiche Beteiligung von METAS am EMRP liegt im Interesse unserer Wirtschaft und der Weiterentwicklung der metrologischen Infrastruktur unseres Landes.

Der Bundesrat beantragt dem Parlament, das Messgesetz um einen neuen Artikel 17a betreffend gewerblichen Leistungen zu ergänzen. Wird aus METAS nun ein Unternehmen?

Der Hintergrund ist gesetzestechnischer Natur. Der neue Artikel 41 des Finanzhaushaltsgesetzes erfordert die Anpassung einiger älterer Gesetze, zu denen auch das Messgesetz gehört. Das Messgesetz hat immer schon gewerbliche Leistungen erlaubt. Weil METAS pro Jahr im Umfang von über 1 Million Franken gewerbliche Leistungen erbringt, ist eine Anpassung «seines» Gesetzes erforderlich.

Warum will der Bundesrat prüfen, METAS in eine dezentrale Verwaltungseinheit umzuwandeln?

Zum einen gilt es zu berücksichtigen, dass METAS dadurch, dass es die Masseinheiten an Wirtschaft, Verwaltung und Wissenschaft weitergibt, zur Hauptsache Dienstleistungen mit Monopolcharakter erfüllt. Daneben erbringt es Dienstleistungen am Markt und erfüllt Aufgaben der Wirtschafts- und der Sicherheitsaufsicht. Ministerialaufgaben nimmt es nur in geringem Umfang wahr. Mit anderen Worten: Aufgaben, Strukturen und Herausforderungen von METAS werden wesentlich durch den Markt und nicht durch die Politik gesteuert. Selbst dort, wo METAS mit der Marktaufsicht hoheitliche Aufgaben wahrnimmt, besteht ein sehr enger Marktbezug.

Zum anderen hat das EJPD alles in allem gute Erfahrungen mit dezentralen Verwaltungseinheiten gemacht, mit Einheiten im sogenannten 3. Kreis, wie man das früher genannt hat. Ich denke an die Revisionsaufsichtsbehörde und an das Institut für Geistiges Eigentum.

Positive Erfahrungen mit rechtlich verselbständigten nationalen Metrologieinstituten kennen wir aus anderen europäischen Staaten, wie Frankreich, den Niederlanden, Spanien, dem Vereinigten Königreich oder Schweden.

Besonders ist auch die Tatsache zu beachten, dass in der Einheitenweitergabe, also den Tätigkeiten der Produktgruppe 3, ausländische Metrologieinstitute METAS auf dem Heimmarkt bereits heute konkurrenzieren. Diese Herausforderungen erfordern von METAS einerseits eine flexible Organisationsform und andererseits eine doch vorhandene Anbindung an den Staat; beides würde eine dezentrale Verwaltungseinheit bieten. Entscheidend ist, dass METAS eine möglichst ideale Organisationsform hat, um diesen und weiteren Herausforderungen der Zukunft gewachsen zu sein.

Frau Bundesrätin, wir danken Ihnen bestens für dieses Gespräch.

Achtung: Laserstrahlung!

Die Möglichkeiten, optische Strahlungsempfänger wie Radiometer zu kalibrieren, sind direkt von den zur Verfügung stehenden Strahlungsquellen abhängig. Im sichtbaren Bereich wurden am METAS in der Vergangenheit hauptsächlich eine monochromatische Lichtquelle mit einer optischen Leistung von wenigen Mikrowatt und einzelne Laser bei diskreten Wellenlängen verwendet. Mit der durchstimmbaren Laserquelle SYLAC (*Système de lasers accordables*), die hier vorgestellt wird, eröffnet sich dem Labor Optik und seinen Kunden eine Vielzahl neuer Anwendungen.

PETER BLATTNER

Spektralmessungen von optischen Quellen und Empfängern sind für verschiedene Anwendungsbereiche von grosser Bedeutung:

- Die meisten photobiologischen und photochemischen Prozesse hängen sehr stark von den Wellenlängen ab: Beispielsweise ist das Risiko für einen Menschen, einen Sonnenbrand einzufangen, bei UV-Strahlen mit einer Wellenlänge von 300 nm rund tausendmal höher als mit einer Wellenlänge von 330 nm!
- Neuartige Lichtquellen wie Spar- oder LED-Lampen (*LED: Light Emitting Diode* bzw. *Lumineszenz emittierende Diode*) müssen nicht nur in Bezug auf ihre Effizienz, sondern auch auf weitere Qualitätsfaktoren geprüft und charakterisiert werden. Die Farbtemperatur, die Qualität der Farbwiedergabe und der Ultraviolett-Anteil werden aus der spektralen Verteilung der Lichtquelle errechnet.
- Strahlungsempfänger wie Photodioden, CCD-Kameras (*CCD: Charge Coupled Device*) und weitere besitzen eine Empfindlichkeit, die abhängig von Wellenlängen ist. Diese Messgeräte können nur mit einer spektral durchstimmbaren Lichtquelle sauber charakterisiert und kalibriert werden.

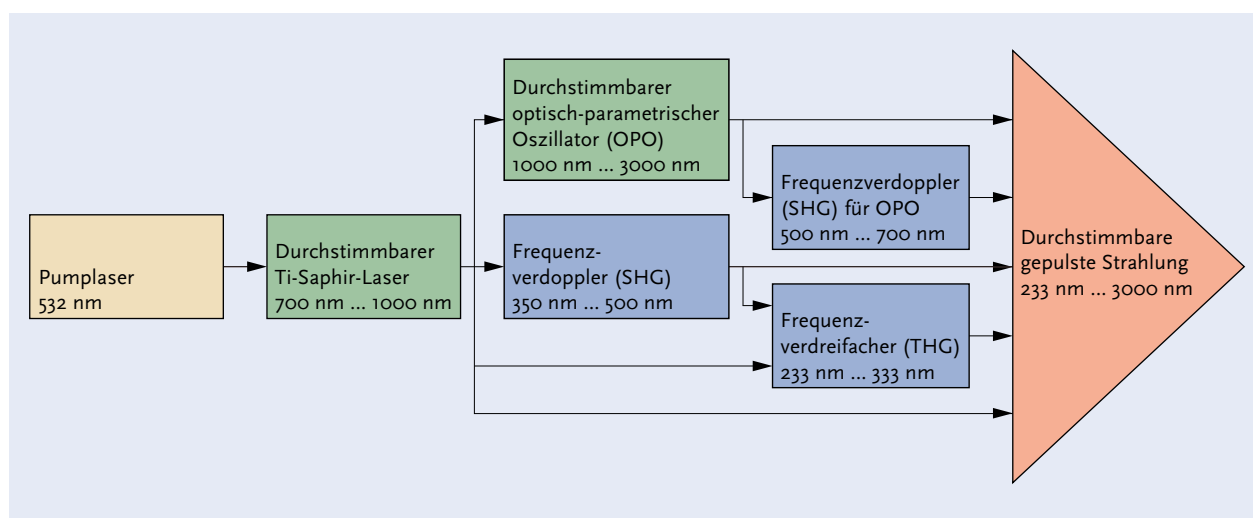
- Photometrische Messungen schmalbandiger Quellen (z. B. farbige LED) müssen auf Grund der nur beschränkt guten Anpassung der Photometer an die menschliche Hellempfindlichkeitskurve korrigiert werden. Grundlage für die Korrektur sind die gemessene spektrale Empfindlichkeit des Photometers und die gemessene spektrale Verteilung der Lichtquelle.

Um Spektralmessungen und -kalibrierungen, die auf das SI rückverfolgbar sind, durchführen zu können, ist eine spektral durchstimmbare Lichtquelle Voraussetzung. METAS hat kürzlich eine solche Lichtquelle in Betrieb genommen.

Das durchstimmbare Lasersystem SYLAC

Eine optische Strahlung ist unter anderem durch ihre spektrale Verteilung charakterisiert. Strahlung mit einer Wellenlänge kleiner als 400 nm bezeichnet man als ultraviolette Strahlung (UV), solche mit einer Wellenlänge grösser als 780 nm als Infrarot-Strahlung (IR). Dazwischen liegt der für das menschliche Auge sichtbare Bereich.

Natürliche Lichtquellen geben Strahlung in einem grossen Wellenlängenbereich ab. Da die Empfindlichkeit von Messgeräten aber wellenlängenabhängig ist, braucht deren



¹ Das Lasersystem (SYLAC) besteht aus verschiedenen Komponenten, die es erlauben, Laserstrahlung in einem grossen Wellenlängenbereich zu generieren.

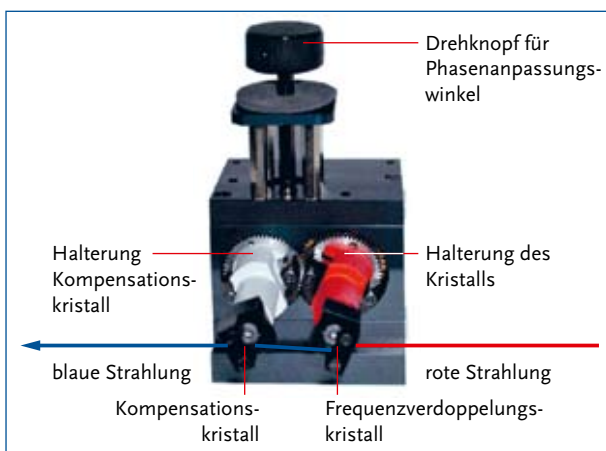
Charakterisierung und Kalibrierung schmalbandige Strahlungsquellen mit einstellbarer (durchstimmbarer) Wellenlänge. METAS hat, basierend auf kommerziellen Lasern, ein durchstimmbares System (Système de lasers accordables, SYLAC) aufgebaut, das eine Vielzahl neuer Anwendungen ermöglicht. Das System (Illustration 1) besteht aus verschiedenen Komponenten, die in der Folge beschrieben werden.

Ein Festkörperlaser macht aus grünem Licht rotes

Ausgangspunkt des Lasersystems SYLAC ist ein grüner, frequenzverdoppelter Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat-Laser (Nd:YAG-Laser), der einen kontinuierlichen Strahl hoher optischer Leistung erzeugt (rund 10 W). Dieser «Pumplaser» speist einen Festkörperlaser des Typs Titan-Saphir. Dieser Laser weist viele Vorteile auf: Bedingt durch sein äusserst breites Verstärkungsprofil lässt sich Strahlung in einem Wellenlängenbereich von 700 nm (Rot) bis 1000 nm (nahes Infrarot) durchstimmbar generieren. Diese Strahlung kann bereits für bestimmte Anwendungen genützt werden.

Werden andere Wellenlängen benötigt, müssen nichtlineare Effekte wie die Frequenzverdoppelung oder nichtsymmetrische, parametrische Wechselwirkungen ausgenützt werden. Diese Effekte können nur durch genügend hohe optische Leistungen der einfallenden Strahlung erzeugt werden.

Zu diesem Zweck behilft man sich mit dem folgenden Verfahren: Durch eine feste und optimierte Phasenbeziehung zwischen den verschiedenen Moden, die im Laserresonator existieren, können sehr kurze Pulse mit entsprechend hoher Leistung generiert werden (Mode-lock). Die Pulslänge beträgt je nach Konfiguration wahlweise 1 bis 2 Pikosekunden oder 100 bis 200 Femtosekunden bei einer Repetitionsrate von rund 80 MHz. Solche Systeme können als «quasi kontinuierlich» bezeichnet werden. Durch die extrem kurze Pulsdauer erhöht sich die Spitzenleistung der Strahlung entsprechend. Der Titan-Saphir-Laser kann aber auch rein kontinuierlich betrieben werden.



2 Frequenzverdoppelungssystem: Die durch den gedrehten Kristall entstehende Ablenkung des optischen Strahls wird mit Hilfe eines zweiten Kristalls kompensiert.

Die Frequenzverdoppelung macht aus rotem Licht blaues

Der Prozess der Frequenzverdoppelung (*Second harmonic generation, SGH*) entsteht bei einer Wechselwirkung zwischen Licht mit hoher Leistungsdichte und speziellen, nichtlinearen Kristallen. Dabei gibt es einen zwingenden Zusammenhang zwischen der Wellenlänge (oder Frequenz) des einfallenden Lichts und der geometrischen Ausrichtung des nichtlinearen Kristalls (Phasenanpassung): Ändert die Wellenlänge, muss der Kristall entsprechend gedreht werden.

Damit sich jedoch die Ausgangsrichtung des Strahls nicht verändert, wird die Ablenkung mittels eines typenähnlichen und entgegengesetzt drehenden Kristalls kompensiert (Bild 2). Mit Hilfe der Frequenzverdoppelung lässt sich die rote und infrarote Ausgangsstrahlung des Titan-Saphir-Lasers in ultraviolette und blaue Strahlung von 350 nm bis 500 nm Wellenlänge umwandeln. Durch Beimischung der Grundwellenlänge können im Frequenzverdreifacher Strahlungen mit Wellenlängen von 233 nm bis 333 nm generiert werden.

Das gleiche Prinzip der Frequenzverdoppelung wird zum Beispiel auch bei den grünen Laserpointern oder beim Pumplaser verwendet, die IR-Strahlung der Wellenlänge 1064 nm in grünes Licht der halben Wellenlänge (532 nm) umwandeln. Unter optimalen Bedingungen können Wirkungsgrade von rund 50 % erreicht werden.

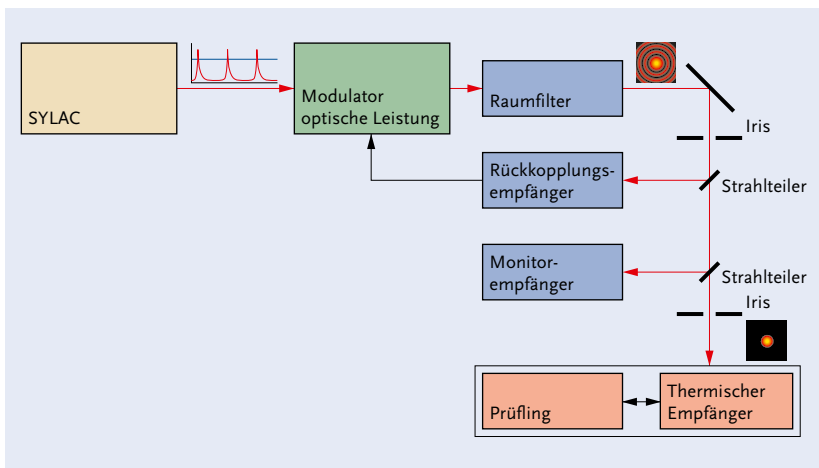
Komplizierter sind die weiteren, nichtsymmetrischen, parametrischen Wechselwirkungen, die genutzt werden, um zusätzliche Wellenlängen generieren zu können: Beim Einstrahlen einer intensiven Pumpwelle der Frequenz ω_p auf einen speziellen Lithium-Tripurat-Kristall (LBO) entstehen zwei Wellen der Frequenz ω_s (Signal) und ω_i («Idler»), wobei sowohl die Energie als auch der vektorielle Impuls erhalten bleiben. Daraus ergibt sich die folgende Frequenzbedingung:

$$\omega_p = \omega_s + \omega_i \quad \text{oder als Wellenlänge ausgedrückt: } \lambda_p^{-1} = \lambda_s^{-1} + \lambda_i^{-1}.$$

Zum Beispiel kann ein Pumplaserstrahl der Wellenlänge $\lambda_p = 775$ nm eine Signalwellenlänge von $\lambda_s = 1100$ nm und eine Idlerwellenlänge von $\lambda_i = 2623$ nm generieren.

Damit dieser Prozess möglichst effizient funktioniert, müssen wiederum hohe Leistungsdichten vorhanden sein. Diese sind nur erreichbar, wenn der Kristall in einen eigenen Resonator eingebaut wird. Durch entsprechende Weganpassung und Kompensation der Dispersion können die Pumpwelle und die Signalwelle im Resonator oszillieren, so dass die benötigte Leistungsdichte erreicht wird.

Dieses System wird als optisch-parametrischer Oszillator (OPO) bezeichnet. Mit Hilfe dieses OPO ist es möglich, Strahlung der Wellenlänge 1000 nm bis 3000 nm zu generieren. Verdoppelt man diese Ausgangsstrahlung, erhält man Licht ab 500 nm und kann damit die spektrale Lücke des Titan-Saphir-Lasers und des frequenzverdoppelten Titan-Saphir-Lasers schliessen.



3 Typische Anwendung des SYLAC: Der Laserstrahl wird durch verschiedene Elemente aufbereitet. Zusammen mit dem Rückkopplungs-empfänger dient der Modulator zur Stabilisierung der optischen Leistung; mit dem Raumfilter wird das räumliche Streulicht unterdrückt.

Vergleich von gepulster und kontinuierlicher Strahlung

Die durch das SYLAC generierte Strahlung ist gepulst und besitzt eine hohe Repetitionsrate. Werden bei der Messung Strahlungsintegrationszeiten verwendet, die viel grösser als die Repetitionszeiten sind, kann die Quelle als «quasi kontinuierlich» betrachtet werden.

In der klassischen Radiometrie wird hauptsächlich kontinuierliche Strahlung eingesetzt, um Messgeräte zu kalibrieren. Es ist daher offensichtlich, dass die Äquivalenz zwischen der Wirkung von quasi kontinuierlicher und kontinuierlicher Strahlung bei den zu prüfenden Messempfängern überprüft und validiert werden muss.

Zu diesem Zweck wurde das in Illustration 3 dargestellte Messsystem aufgebaut: Der Ausgangsstrahl des SYLAC wird durch verschiedene Komponenten verbessert. Mit Hilfe eines optischen Leistungsmodulators (z. B. einem Flüssigkristallmodulator oder einem elektro-optischem Modulator) und einem Rückkopplungsempfänger wird sichergestellt, dass die Ausgangsleistung konstant bleibt.

In der Praxis ist es möglich, über mehrere Minuten eine relative Strahlleistungsstabilität von $2 \cdot 10^{-5}$ zu erreichen. Ein Raumfilter dient zur Unterdrückung des räumlichen Streulichts. Nach dem Durchgang des Strahls durch verschiedene Blendenöffnungen (Iris) bleibt ein geometrisch sauberer und zeitlich konstanter Strahl.

Ein Prüfling – beispielsweise eine Siliziumphotodiode – wird nun abwechselungsweise in den gleichen optischen Strahl gebracht wie ein thermischer Empfänger. Die Antwort des thermischen Empfängers ist a priori unabhängig von kurzen Pulsdauern: Dieser Empfänger integriert die Energie zeitlich über einen längeren Bereich.

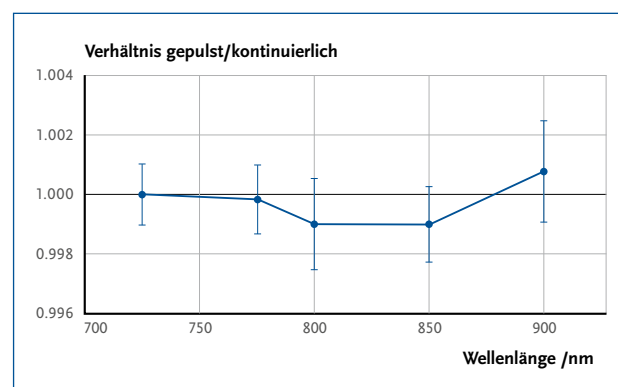
Das Verhältnis des Signals der Photodiode und des thermischen Empfängers sollte nun unabhängig der zeitlichen Variation sein (z. B. gleiches Verhältnis für kontinuierliche

Strahlung und für quasi kontinuierliche Strahlung). Das Diagramm 4 zeigt ein typisches Messergebnis. Den Fachleuten des Labors *Optik* ist es gelungen zu zeigen, dass für IR-Strahlung die Nichtäquivalenz für Pikosekundenpulse mit hoher Repetitionsrate und konstanter Leistung kleiner als 0.03 % ist, und das bei einer erweiterten Messunsicherheit von 0.07 %.

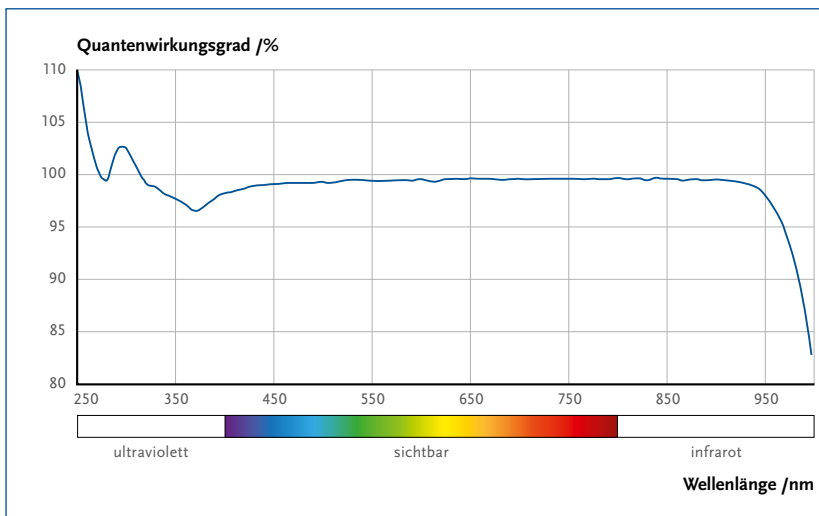
Direkte Anwendung in der Metrologie

Das neue Lasersystem SYLAC kommt direkt bei der Primärrealisierung der optischen Strahlungsmessung zum Einsatz: Am METAS basiert die optische Strahlungsmessung auf einem Tiefsttemperatur-Radiometer (Kryoradiometer [1]).

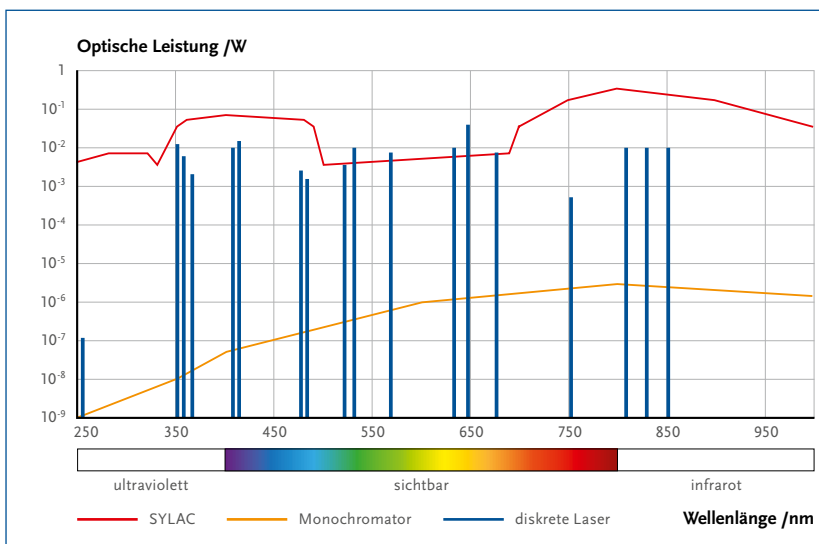
Das Kryoradiometer besteht im Wesentlichen aus einem schwarzen Empfängerhohlraum (Kavität). Diese Kavität wandelt die einfallende Strahlung in Wärme um, die über eine Wärmebrücke abgeleitet wird. Die Arbeitstemperatur beträgt wenige Kelvin und wird mit Hilfe von flüssigem Helium erreicht. Das Kryoradiometer erlaubt die Bestimmung der optischen Strahlungsleistung in höchster Genauigkeit. Diese gemessene Leistung muss nun auf geeignete Empfänger transferiert werden.



4 Vergleich des Signals einer quasi kontinuierlichen Strahlung im Verhältnis zu einer kontinuierlichen Strahlung für eine Silizium-Photodiode. Die Nichtäquivalenz ist kleiner als 0.03 %.



5 Externer Quantenwirkungsgrad eines Transferempfängers (Si-Trap-Empfänger): Im sichtbaren Bereich beträgt er rund 99,7 %, das heisst, dass fast alle Photonen in Elektronen umgewandelt werden. Mit Hilfe des SYLAC lassen sich besonders die spektralen Randbereiche genauer analysieren.



6 Die bisherigen Mess- und Kalibriermöglichkeiten beschränkten sich auf wenig diskrete Laserwellenlängen sowie einen durchstimmbaren Monochromator mit kleinen Leistungen. Das neue Laserquellensystem SYLAC erlaubt höhere Leistungen und deckt einen grösseren Wellenlängenbereich ab, theoretisch bis 3000 nm.

Für Strahlung im nahen UV-, im sichtbaren und im nahen IR-Bereich werden typischerweise Empfängersysteme verwendet, die aus mehreren Silizium-Photodioden bestehen (Si-Trap-Empfänger). Bei der Absorption eines Photons wird im sichtbaren Wellenlängenbereich pro Photon ungefähr ein Elektron-Lochpaar erzeugt. Die Quantenausbeute ist nahezu eins (0.997).

Im UV kann der Quantenwirkungsgrad grösser als 100 % sein, da die energiereichen Photonen mehr als ein Elektron generieren können (Diagramm 5). Damit diese Effekte untersucht und die Transferempfänger kalibriert werden können, muss eine durchstimmbare Quelle von genügender Qualität und Leistung eingesetzt werden.

Erweiterung der Kalibrier- und Messmöglichkeiten

Die mit dem SYLAC zur Verfügung stehenden Wellenlängen und Leistungen sind in Diagramm 6 dargestellt. Die effektiv eingesetzten Leistungen werden aber meistens tiefer sein, da

der Ausgangsstrahl noch entsprechend aufbereitet werden muss. Je nach Anforderung der Anwendung muss die Strahlleistung stabilisiert und das Strahlprofil geometrisch «gesäubert» werden.

Innerhalb des Wellenlängenbereichs der verschiedenen Systemkomponenten ist die Durchstimmbarkeit relativ einfach zu bewerkstelligen. Müssen verschiedene Systemkomponenten verwendet werden, muss unter Umständen der Messaufbau angepasst und der Strahl neu justiert werden.

Mit der nun vorhandenen höheren Leistung können im METAS Messgeräte mit kleineren Empfindlichkeiten kalibriert werden, z. B. Thermosäulen oder pyro-elektrische Empfänger. Da die Wellenlänge durchstimmbar ist, können auch Empfänger charakterisiert werden, die eine starke spektrale Abhängigkeit haben wie der spektrale Durchlassgrad Ulbrichtscher Kugeln (Bild 7) oder die spektrale Empfindlichkeit grossflächiger Photometer.



7 Mit Hilfe des SYLAC lassen sich eine Vielzahl unterschiedlicher optischer Empfänger charakterisieren und kalibrieren: Im Bild eine Ulbrichtsche Kugel.

Streulichtmessungen an Spektroradiometern

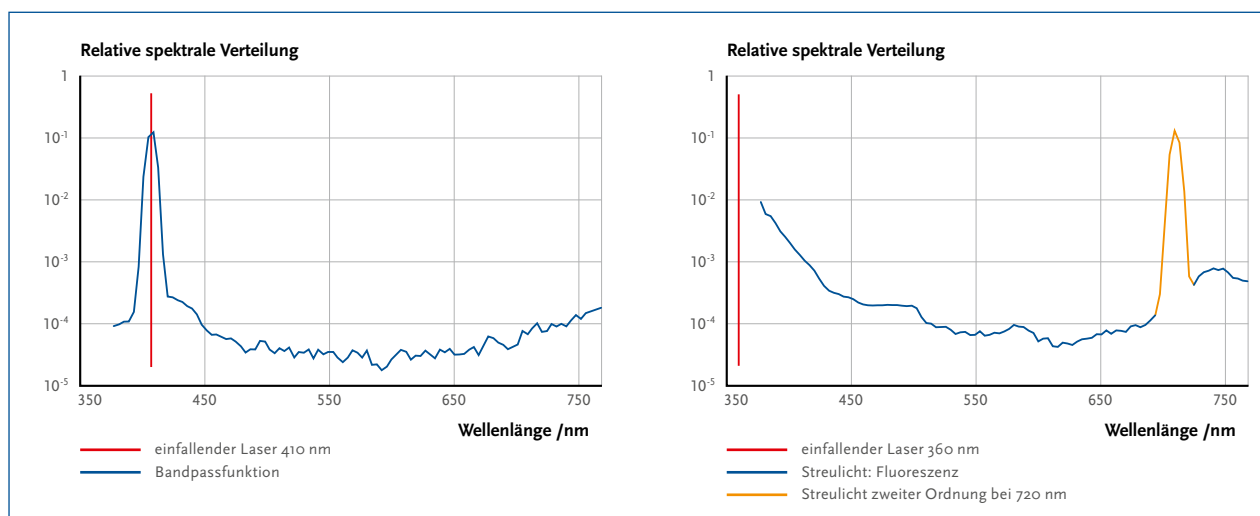
Kompakte Spektroradiometer erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Mit Hilfe dieser Messgeräte lassen sich Spektren von Lichtquellen relativ einfach bestimmen und daraus Kenngrößen wie Farbkoordinaten oder der UV-Anteil ableiten. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem dispersiven Element, einem Beugungsgitter, das die einfallende Strahlung spektralgeometrisch aufteilt und mit Hilfe eines Empfängerarrays – z. B. einem *Charge Coupled Device (CCD)* – dessen Anteile bestimmt.

Ein Hauptproblem dieser Messgeräte ist das relativ grosse spektrale Streulicht. Als spektrales Streulicht wird die Strahlung bezeichnet, die physikalisch nicht vorhanden ist, die das Messgerät aber wegen seiner Konstruktion trotzdem als Signal generiert. Mit Hilfe des SYLAC lässt sich das Streulichtverhalten von Spektroradiometern einfach untersuchen und quantifizieren.

Die Diagramm 8 links zeigt die Messung eines Laserstrahls der Wellenlänge 410 nm. Das Messgerät zeigt ein typisches Verhalten: Bedingt durch das beschränkt Auflösungsvermögen, wird die Laserlinie nicht als einzelne Linie, sondern als verbreitete Funktion (Bandpassfunktion) dargestellt. Wird nun eine einfallende Strahlung der Wellenlänge 360 nm verwendet (Diagramm 8 rechts), verändert sich die Antwort des Messgerätes wesentlich.

Klar ersichtlich ist das Streulicht, das durch die zweite Beugungsordnung des Messgerätes hervorgerufen wird (bei 720 nm). Zusätzlich sind im blauen Spektralbereich weitere dominante Streulichtanteile vorhanden. Diese sind wahrscheinlich durch Fluoreszenzeffekte der Eingangsstreuscheibe (Diffusor) des Messgerätes generiert worden. Wird dieses Messgerät verwendet, um Spektralmessungen von Quellen durchzuführen, die einen gewissen UV-Anteil haben (z. B. Sparlampen oder Leuchtstoffröhren), könnten grössere Messfehler entstehen. Auch könnte ein solches Messgerät für die Messungen der sonnenbrandwirksamen Bestrahlungsstärke nicht eingesetzt werden (z. B. in Solarien), da die Unterdrückung des spektralen Streulichts zu klein ist. Für solche Anwendungen müssen komplexere Messsysteme verwendet werden (z. B. Doppelmonochromator-Spektroradiometer).

Vor Kurzem wurde in der einschlägigen Literatur eine Methode zur Verkleinerung des Streulichts in Mikrospektrometern vorgestellt. Voraussetzung ist die Verwendung einer durchstimmbaren, schmalbandigen Lichtquelle mit genügender Leistung. Es wird die «Punkteantwort» des Spektrometers für jede Wellenlänge bestimmt. In gemessenen Spektren können dann über eine «Entfaltung» das Streulicht und die Spaltfunktion numerisch unterdrückt werden. Mit der neuen Quelle hat METAS die Möglichkeit, diese neue Streulichtkorrekturmethode interessierten Kreisen anzubieten.

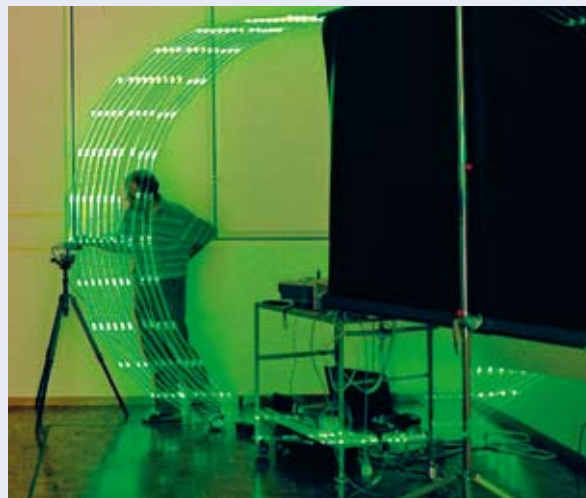


8 Mit Hilfe des SYLAC lässt sich unter anderem das Streulichtverhalten von Spektroradiometern untersuchen.

Seit 1. Mai 2007 ist die neue Schall- und Laserverordnung (SR 814.49, www.admin.ch/ch/d/sr/c814_49) in Kraft. Wer Veranstaltungen mit Laseranlagen durchführt (Showlaser, Skylaser...), muss diese so einrichten und betreiben, dass sie beim Publikum keine schädlichen Immissionen erzeugen. Der Einsatz von Lasern bei Veranstaltungen unterliegt der Meldepflicht. Die Vollzugsbehörden (Kantone) sind angehalten, bei Veranstaltungen stichprobenweise zu kontrollieren, ob die Grenzwerte der Laseranlagen eingehalten werden.

Die Analyse des Gefährdungspotentials eines Showlasers ist komplex. Die Grenzwerte sind abhängig von der Einwirkzeit, der Wiederholfrequenz, der Wellenlänge und der Strahlgeometrie. Als Beispiel beträgt der Grenzwert für einen kontinuierlich strahlenden, sichtbaren Laser mit kleinem Durchmesser und kleiner Strahldivergenz (z. B. Laserpointer) 1 mW. Bei gescannten oder gepulsten Systemen beträgt der Grenzwert 190 nJ für einen Einzelpuls. Falls mehrere Pulse innert einer gewissen Zeit einfallen, verringert sich der Grenzwert entsprechend.

Im Showbereich werden Laser mit über 10 W Leistung eingesetzt. Die Grenzwerte bei Bestrahlung direkt ins Publikum



können nur eingehalten werden, wenn die Strahlung entsprechend abgeschwächt wird (z. B. durch Strahldivergenz, scannen, usw.). METAS unterstützt die Kantone bei der Analyse des Gefährdungspotentials und die Industrie bei der Klassifizierung und Konformitätsbewertung einfacher Lasersysteme.

9 Beurteilung der Sicherheit von Lasern und Lasershows.

Weitere Anwendungen in Faseroptik und Thermometrie

Das SYLAC erlaubt aber auch Anwendungen auf anderen metrologischen Gebieten: Die Kalibrierung der Spektralempfindlichkeit faseroptischer Leistungsmessgeräte im Wellenlängenbereich von 700 nm bis 1700 nm und bei Leistungen von einigen mW bis 100 mW gehört zu den Dienstleistungen, die immer mehr gefragt sind.

Da diese Leistungsmessgeräte für einen Einsatz mit Glasfasern (divergenter Strahl) und mit schmalbandigen Laserquellen (grosse Kohärenzlänge) konzipiert sind, ist eine Kalibrierung mit klassischen Freistrahlsystemen, die auf Monochromatoren und Weisslichtquellen basieren, nicht geeignet. Das SYLAC ist das ideale Instrument zur Realisierung dieser Kalibrierung in der bestmöglichen Geometrie, wo die Einflüsse divergierender Strahlgeometrien und Interferenzeffekte sehr genau kontrolliert werden können.

Im Bereich der Thermometrie werden vermehrt berührungslose Messempfänger (Infrarot-Pyrometer) eingesetzt. Diese bestehen im Wesentlichen aus einem oder mehreren gefilterten IR-Empfängern. Mit Hilfe des SYLAC können die spektralen und optischen Eigenschaften von Pyrometern quantifiziert und allfällige Korrekturfaktoren bestimmt werden.

Die neue Strahlungsquelle erweitert die bestehende Grundausrüstung des Labors *Optik* entscheidend. Sie entspricht den Anforderungen der Kundschaft und erlaubt es dem Labor, die bereits breite Palette von Dienstleistungen weiter auszubauen. Das SYLAC erlaubt es aber auch, wissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen, welche beispielsweise die Äquivalenz quasi kontinuierlicher und kontinuierlicher Strahlung, das Fluoreszenzverhalten von Materialien oder andere, neue Methoden der Radiometrie und Photometrie betreffen.

Referenz

- [1] Peter Blattner: Neue optische Strahlungsmessbasis am METAS, metINFO, Vol. 12, Nr. 2, 2005.



Dr. Peter Blattner, Laborleiter *Optik*,
Direktwahl 031 32 33 340, peter.blattner@metas.ch.

Attention : rayonnement laser !

Les possibilités d'étalonner des récepteurs de rayonnement optique, comme les radiomètres, dépendent directement des sources de rayonnement disponibles. La source laser à fréquence variable (**Système de lasers accordables, SYLAC**) offre au laboratoire Optique une multitude de nouvelles applications et prestations possibles.

Le point de départ du SYLAC est un laser Néodyme YAG vert à fréquence doublée, qui produit un rayon continu de forte puissance optique (env. 10 W). Ce «laser de pompe» alimente un laser solide titane-saphir capable de générer un rayonnement dans un domaine spectral variable allant du rouge (700 nm) à l'infrarouge proche (1000 nm). Avec l'utilisation additionnelle du doubleur de fréquence non linéaire, du tripleur de fréquence et d'un oscillateur paramétrique optique, le domaine spectral peut être étendu en mode impulsionnel à l'ultraviolet (250 nm), ainsi qu'à l'infrarouge éloigné (3000 nm).

La nouvelle source de rayonnement élargit considérablement l'équipement de base du laboratoire Optique. Elle permet de continuer à développer la gamme de prestations déjà existante. Le SYLAC peut être également utilisé pour l'étalonnage de wattmètres à fibres optiques dans le domaine de la télécommunication, pour la caractérisation de pyromètres permettant de mesurer la température sans contact, mais aussi dans le domaine de la recherche scientifique, par exemple pour étudier le comportement fluorescent des matériaux.

Attenzione: radiazione laser!

Le possibilità di tarare dei ricevitori ottici, quali ad esempio i radiometri, dipendono direttamente dalle fonti di radiazione disponibili. Con la fonte laser sintonizzabile SYLAC (**Système de lasers accordables**) per il laboratorio di ottica si aprono numerose nuove applicazioni e possibilità di servizi.

Punto di partenza del SYLAC è un laser verde YAG al neodimio, a frequenza raddoppiata, che produce un raggio continuo di elevata potenza ottica (circa 10 W). Questo «laser pompa» alimenta un laser a stato solido in zaffiro-titanio, con cui è possibile generare radiazioni sintonizzabili in una gamma di lunghezze d'onda che vanno dal rosso (700 nm) al vicino infrarosso (1000 nm). Utilizzando inoltre duplicatori e triplicatori non lineari di frequenza, e un oscillatore parametrico ottico, nell'emissione impulsiva si può estendere la gamma di lunghezze d'onda fino all'ultravioletto (250 nm) e in seguito anche fino all'infrarosso lontano (3000 nm).

La nuova fonte di radiazione potenzia in modo determinante l'esistente equipaggiamento di base del laboratorio di ottica, consentendogli di ampliare ulteriormente la sua già vasta gamma di servizi. Il SYLAC trova impiego anche nella taratura di wattmetri a fibre ottiche per le telecomunicazioni, nella caratterizzazione di pirometri per la misurazione senza contatto di temperatura, ma anche per studi scientifici ad esempio quelli sul comportamento di materiali a livello di fluorescenza.

Caution: Laser Radiation!

The ability to calibrate optical radiation detectors such as radiometers is a direct function of the available radiation sources. SYLAC (**Système de lasers accordables**) is a tunable laser source that is opening up a multitude of new applications and potential services for the Optics laboratory.

SYLAC's starting point is a green, frequency-doubled Nd:YAG laser that generates a continuous beam with high optical power (about 10 W). This «pump laser» feeds a titanium-sapphire solid-state laser which can be used to tunably generate radiation in the wavelength range from red (700 nm) to near infrared (1000 nm). By additionally using nonlinear frequency doublers, frequency triplers and an optical parametric oscillator, the wavelength range can be extended for pulsed operation deep into the ultraviolet range (250 nm) and later also into the far infrared range (3000 nm).

The new radiation source represents a significant expansion of the Optics laboratory's existing test hardware. This source is allowing the laboratory to further extend its already wide range of services. SYLAC also has applications in the calibration of fibre optical power meters for telecommunications, characterisation of pyrometers for contact-free temperature measurements and for scientific investigations in areas such as fluorescence properties of materials.

METAS-Gaszählerprüfstand international erfolgreich evaluiert

METAS beteiligte sich mit seinem Sekundärnormal für grosse Gasflüsse, dem Gaszählerprüfstand, am EURAMET-Messvergleich Nr. 1006. Das Amt schnitt hervorragend ab: Seine Resultate stimmen mit dem Referenzwert – dem gewichteten Mittel der nationalen Normale der 14 teilnehmenden Metrologieinstitute – sehr gut überein, und das bei kleinsten Messunsicherheiten.

MARIO CLAUSEN, HUGO BISSIG, JEAN-PAUL VERDUN

Im Jahr 2008 lag der Erdgasabsatz in der Schweiz über 36.2 Milliarden Kilowattstunden (kWh). Dies entspricht einem neuen Rekordwert und einer Steigerung um 6.5 Prozent gegenüber dem Vorjahr. Zudem wurde das Schweizer Erdgasnetz letztes Jahr um weitere 300 Kilometer erweitert. Zugunommen hat auch der Absatz von Erd- und Biogas als Treibstoff: Er stieg gegenüber dem Vorjahr um 53 Prozent, was umgerechnet der Menge von knapp 15 Millionen Litern Benzin entspricht.

Sicheren Handel gewährleisten

Weil die Schweiz nicht über eigene Erdgasvorkommen verfügt, wird der gesamte Bedarf importiert. Zuverlässige ausländische Lieferanten und gesicherte Erdgasvorkommen in möglichst stabilen Ländern sind für die Versorgungssicherheit unabdingbar. Rund drei Viertel des schweizerischen Erdgasbedarfs werden durch Swissgas und der Rest durch vier regionale Versorger eingekauft. Das von Swissgas eingekaufte Erdgas stammt ausschliesslich von grossen europäischen Lieferanten: rund 75 % aus der EU und aus Norwegen, rund 20 % aus Russland und der Rest aus weiteren Ländern.

Um einen sicheren internationalen und nationalen Handel mit Erdgas gewährleisten zu können, kommen der genauen Kalibrierung und Eichung von Gaszählern in der Schweiz eine entscheidende Bedeutung zu. Dass der Gaszählerprüfstand des METAS diesen hohen Anforderungen genügt, zeigen die erzielten Resultate im EURAMET-Messvergleich Nr. 1006.

Flexibel einsetzbarer Gaszählerprüfstand

Auf dem Gaszählerprüfstand des METAS (Bild 1) kalibrieren und eichen die Fachleute des Labors *Volumen und Durchfluss* Gaszähler mit einer Durchflussrate von 0.1 m³/h bis 4500 m³/h Luft. Als Sekundärnormale dienen vor allem Drehkolben- und Turbinenrad-Gaszähler. Die Sekundärnormale werden an den Messplätzen *Kubizierapparat* und *Kolbennormale* (Primärnormale) kalibriert. Die Messunsicherheit der Sekundärnormale wird aufgrund ihrer Reproduzierbarkeit und der Messunsicherheiten der Primärnormale berechnet.

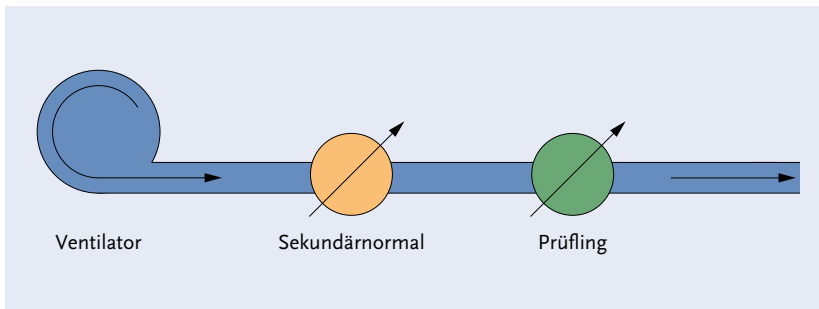
Der Vergleich zwischen Sekundärnormalen und Prüflingen erlaubt die lückenlose Rückverfolgbarkeit auf die SI-Einheiten. Die Messunsicherheit ist zwar grösser als bei der Verwendung

von Primärnormalen, genügt aber problemlos den Anforderungen für die Eichung und Kalibrierung von Gaszählern. Zudem können durch Parallelschaltung von Sekundärnormalen höhere Volumenströme als mit Primärnormalen realisiert werden. Weitere Vorteile des Gaszählerprüfstandes sind der beschleunigte Messablauf sowie Vergleichsmessungen zwischen Prüflingen und Normalen gleicher Bauart.

Das Messprinzip des Gaszählerprüfstandes ist in Illustration 2 dargestellt: Zwei Ventilatoren mit je 35 kW Leistung, die je nach Durchflussrate und Gegendruck einzeln, parallel oder seriell betrieben werden können, produzieren konstante Volumenströme, die mit einem Sekundärnormal gemessen



1 Mit den sechs Turbinenrad-Gaszählern (Sekundärnormale) ist METAS in der Lage, Gaszähler mit Durchflussraten von 0.1 m³/h bis 4500 m³/h Luft in der erforderlichen Genauigkeit zu kalibrieren.



2 Gaszählerprüfstand des METAS: Im Sekundärnormal und im Prüfling werden Volumenfluss, Druck, Temperatur und Feuchtigkeit gemessen.

werden. Der vom Sekundärnormal gemessene Volumenfluss wird unter Berücksichtigung des Drucks, der Temperatur und der Feuchte des Volumenstromes beim Sekundärnormal in den Massenfluss umgerechnet, der entlang der Gaszähleranlage konstant bleibt. Dieser Massenfluss kann mit Hilfe der Luftparameter beim Prüfling in dessen Volumenfluss umgerechnet werden.

METAS – eines von fünf Primärlaboratorien

Am internationalen Messvergleich eines Axial-Turbinenrad-Gaszählers – EURAMET-Projekt Nr. 1006 – nahmen 14 nationale Metrologieinstitute teil. Pilotlabor war das tschechische Institut CMI in Skuteč. Der Messvergleich fand in der Zeit von April bis Dezember 2008 statt. Jedes Labor hatte zwei Wochen Zeit, um das Reisenormal des CMI – ein Axial-Turbinenrad-Gaszähler – zu kalibrieren und dann weiterzusenden.

Gemessen wurde bei acht verschiedenen Durchflussraten: 10 000 m³/h, 8 000 m³/h, 6 500 m³/h, 5 000 m³/h, 4 000 m³/h, 3 000 m³/h, 2 000 m³/h und 1 000 m³/h. Weil im Erdgas-Transportnetz der Schweiz kaum höhere Durchflussraten als 4 000 m³/h erreicht werden, beteiligte sich METAS bei den niedrigsten vier Durchflussraten.

Alle Laboratorien wendeten ihre üblichen Kalibrierverfahren an. Fünf Laboratorien, darunter METAS, betreiben eigene Primärnormale, sind also unabhängig von anderen. Das ist bei den Laboratorien, die lediglich Sekundärnormale verwenden, nicht der Fall.

Hersteller	Elster AG, Mainz
P _{max}	10 bar
Innendurchmesser	400 mm
Minimaler Durchfluss	1000 m ³ /h
Maximaler Durchfluss	10 000 m ³ /h
Gewicht	400 kg
Impulsrate	371.20 Impulse/m ³
Druckverlust bei Q _{max}	1200 Pa (Luft mit ρ = 1.2 kg/m ³)

3 Technische Spezifikationen des Prüflings, einem Axial-Turbinenrad-Gaszähler.

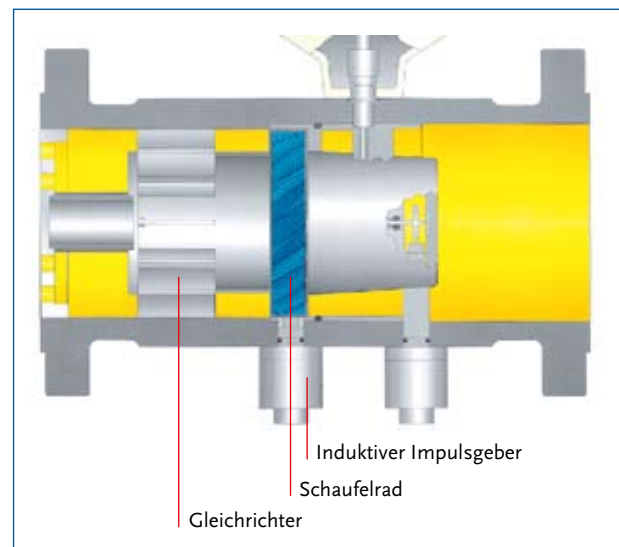
Durchflussrate induktiv gemessen

Als Reisenormal diente ein Axial-Turbinenrad-Gaszähler, bei dem die Achse des Schaufelrades axial zur Fließrichtung montiert ist. Weil die Rotorschaukeln in einem Winkel zur Strömungsrichtung angebracht sind, bewirkt die Messstoffströmung auf dem Turbinenrad ein Drehmoment. Daraus resultiert die Drehbewegung des Schaufelrades, die beim Reisenormal induktiv erfasst wird.

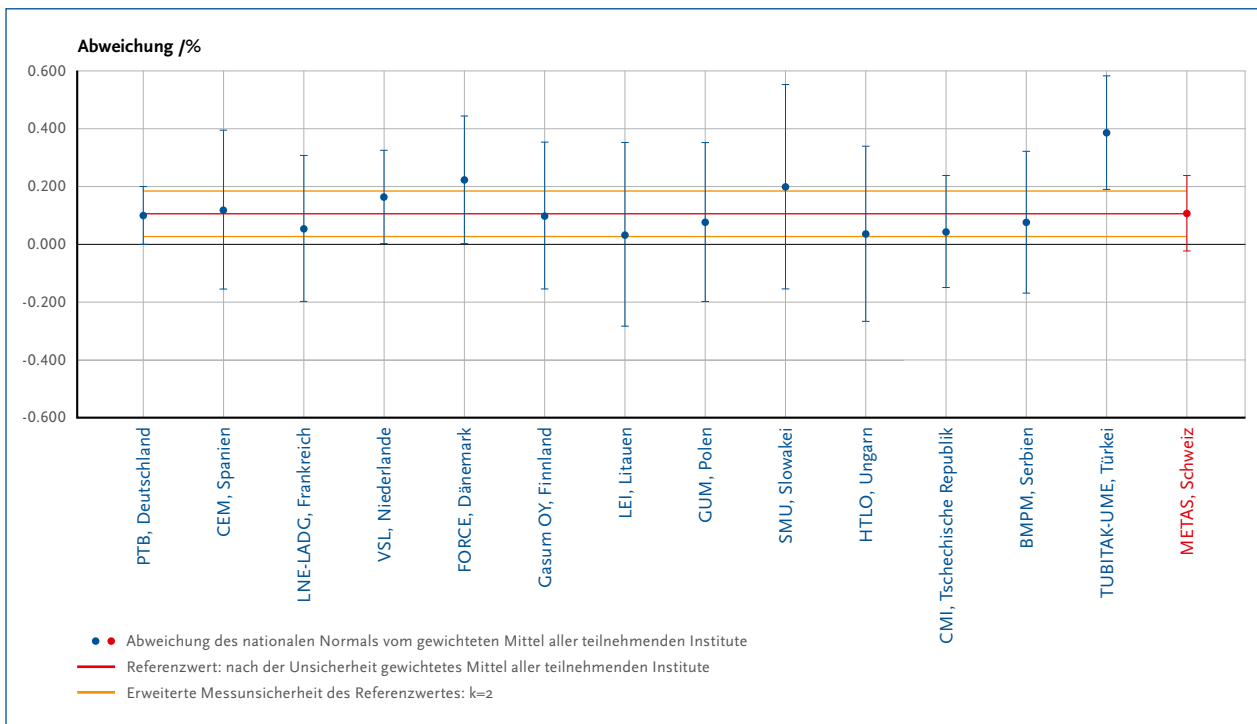
Jedes Mal, wenn eine Turbinenschaukel den Signalabnehmer passiert, wird ein Impuls erzeugt. Jeder dieser Impulse entspricht einem genauen Messstoffvolumen. Die Anzahl Impulse, multipliziert mit diesem Volumen, entspricht somit dem Messstoffvolumen, das in einer bestimmten Zeit durchgeflossen ist. Die Impulsfrequenz ist ein Mass für die Durchflussrate.

Strömungsstörungen beim Kalibrieren eliminiert

Der Axial-Turbinenrad-Gaszähler wurde mit Luft bei atmosphärischem Druck in horizontaler Lage kalibriert. Bei dieser Kalibrierung wurde darauf geachtet, dass – wie vom Pilotlabor definiert – eine Einlaufstrecke von 5 x DN (DN = Rohrdurchmesser) und eine Auslaufstrecke von 3 x DN eingehalten



4 Dieser Axial-Turbinenrad-Gaszähler des tschechischen Metrologieinstituts diente als zu vermessendes Reisenormal.



5 Prozentuale Abweichung des Reisenormal, ein Axial-Turbinenrad-Gaszähler, von den nationalen Normalen bei einer Flussrate von 3000 m³/h aller teilnehmenden Institute am EURAMET-Messvergleich 1006.

wird. Diese Ein- und Auslaufstrecken sind nötig, um Drallströmungen oder Störungen im Strömungsprofil durch vorgelagerte Formstücke zu eliminieren.

Der Druck der durchströmenden Luft beim Axial-Turbinenrad-Gaszähler wurde an einem am Gaszähler angebrachten Druckmessstutzen gemessen. Die Temperatur der durchströmenden Luft wurde beim Prüfling in einem Abstand von 3 x DN hinter der Turbine gemessen. Die Impulsrate des Hochfrequenzsensors des Axial-Turbinenrad-Gaszählers beträgt 371.20 Impulse/m³.

Jede der vier Durchflussraten (4000 m³/h, 3000 m³/h, 2000 m³/h und 1000 m³/h) wurde dreimal nacheinander gemessen. Der eingestellte Volumenstrom musste dabei im Bereich von ± 3 % des geforderten Wertes liegen.

METAS schnitt hervorragend ab

Der im März 2009 veröffentlichte Schlussbericht des EURAMET-Messvergleichs Nr. 1006 zeigt, dass das Labor *Durchfluss und Volumen* des METAS hervorragende Resultate erzielt hatte: Seine Kalibrierungen stimmen mit jedem Referenzdurchfluss überein, nämlich mit den nach Unsicherheit

gewichteten Mittelwerten aller nationalen Metrologieinstitute. Diagramm 4 verdeutlicht dies am Beispiel der Flussrate von 3000 m³/h.

Dieser Messvergleich zeigt, dass die Sekundärnormale des METAS-Gaszählerprüfstandes mit den Primärnormalen des Labors *Durchfluss und Volumen* korrekt kalibriert werden. Auch die Genauigkeit der Kalibrierungen der weiteren Hauptkomponenten des Gaszählerprüfstandes – Druck, Temperatur und Feuchte der Luft – sind garantiert.

Weiterer Messvergleich mit Primärnormalen vorgesehen

EURAMET plant, im Jahr 2010 einen weiteren Messvergleich durchzuführen, und zwar für Durchflussraten von 1.0 m³/h bis 100.0 m³/h. Auch daran wird sich METAS beteiligen. Das Amt deckt diesen Durchflussbereich vollständig mit Primärnormalen ab: bis zu einem Volumenstrom von 9 m³/h mit dem hochgenauen 150-Liter-Kolbennormal und bei einer Durchflussrate von 1.0 m³/h bis 1000 m³/h mit dem 10 000-Liter-Kubizierappat. Als Reisenormal wird ein Drehkolben-Gaszähler zum Einsatz kommen. Zu gegebener Zeit wird im METinfo darüber berichtet werden.

Kompetenz bei der Messung von giftigem Kohlenmonoxid nachgewiesen

METAS beteiligte sich letztmals im Jahr 1999 an einem internationalen Vergleich stabiler Gasgemische im Bereich der Emissionsmessungen. Höchste Zeit also, nach verschiedenen Erneuerungen der Infrastruktur die Messmöglichkeiten wieder einmal einem Test zu unterziehen. Im bisher grössten Vergleich, der im Rahmen des Konsultativkomitees für die Stoffmenge (Comité Consultatif pour la Quantité de Matière, CCQM) durchgeführt wurde, hat das staatliche Metrologieinstitut Südafrikas, NMISA, die Koordination und die Herstellung der Reisenormale übernommen. 25 Institute aus 23 Ländern mit annähernd 50 Metrologen nahmen am Schlüsselvergleich CCQM-K51 teil – auch METAS hat sich daran beteiligt.

BERNHARD NIEDERHAUSER, ANDREAS ACKERMANN

Der Analyt *Kohlenmonoxid (CO)* ist einer der gasförmigen Schadstoffe, die in der Schweiz täglich gemessen werden. METAS hat bereits 25 Jahre Erfahrung mit hochgenauen Messungen von Mehrkomponenten-Gasgemischen, die CO enthalten. Mit der Einführung der Abgaswartungspflicht für Motorfahrzeuge im Jahr 1985 musste auch die Qualität der Gasgemische für die Kalibrierung, Justierung und Kontrolle der Abgasmessgeräte gesichert werden [1]. Bereits zwei Jahre später wurde das erste private Kalibrierlabor für Gasgemische akkreditiert. Bald darauf wurden die Gasgemische auch für die Kalibrierung, Justierung und Kontrolle von Messgeräten für Feuerungsabgase eingesetzt. Trotzdem zeigen die Resultate des neusten Vergleichs, dass noch nicht überall sämtliche Probleme beim Messen von Kohlenmonoxid-Gemischen unter Kontrolle sind.

Vorbereitungen zum Schlüsselvergleich

Die Arbeitsgruppe *Gase (GAWG)* des CCQM hat in ihrer Strategie vom April 2005 festgehalten, Schlüsselvergleiche nach Möglichkeit in einem Rhythmus von zehn Jahren zu wiederholen. Dieser Vorgabe wird mit dem Vergleich CCQM-K51 Genüge getan. Dennoch sind diese Wiederholungen selten genaue Kopien der ursprünglichen Vergleiche. In diesem Fall waren vor allem die Anzahl der Teilnehmer und der Nennwert von $5 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ CO in Stickstoff das zu kalibrierende Reisenormale eine besondere Herausforderung. Dieser Nennwert gehört schon fast in den Bereich der Immissionsmessungen und der Arbeitsplatzhygiene, wogegen METAS bis anhin ausschliesslich über Normale verfügte, die den Emissionsbereich von Motoren und Feuerungen abdeckten. METAS wollte sich dieser Herausforderung mit bestehendem Know-how aber trotzdem stellen.

Da die südafrikanischen Metrologen mit der Herstellung und Messung von CO-Gemischen und mit der Organisation von Messvergleichen erst wenig Erfahrung besitzen, wurden sie von den holländischen Kollegen des *Van Swinden Laboratoriums (VSL)*, den europäischen Gasspezialisten schlechthin, tatkräftig

unterstützt. Die Vorarbeiten der beiden Institute im Rahmen des EURAMET-Projektes 900 zeigten nach einigen Anfangsschwierigkeiten letztlich eine befriedigende Übereinstimmung der Gasgemischnormale der beiden Institute.

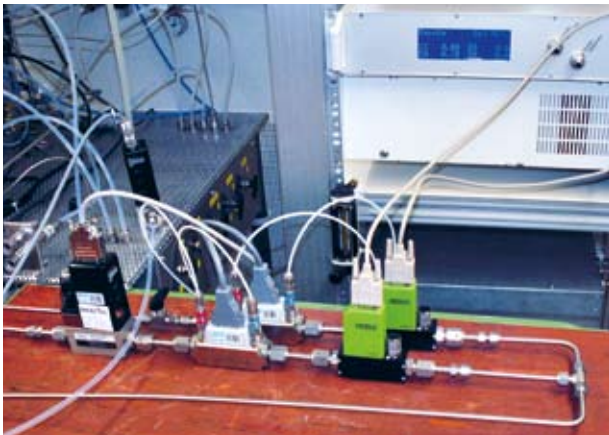
Als zusätzliche Unterstützung untersuchten die sehr erfahrenen Institute *National Physical Laboratory (NPL)* und *VSL* mit spurenanalytischen Methoden den Stickstoff, der für die Herstellung der Gemische verwendet wurde, auf Verunreinigungen wie CO, Kohlendioxid (CO₂), Argon, Sauerstoff und Methan. Ebenso war es nach einschlägigen Erfahrungen aus der CCQM-Studie P23 [2] von entscheidender Bedeutung, dass das Isotopenverhältnis ¹³C/¹²C des CO etwa dem natürlichen Verhältnis entsprach, was vom koreanischen Institut KRISS verifiziert wurde.

Das Konzept des Vergleichs

Im Gegensatz zu präparativen Vergleichen, wo die genaue Herstellung von Gemischen mit einer spezifischen Messmethode verglichen wird, handelt es sich beim CCQM-K51 um einen analytischen Vergleich [3]. Das bedeutet, dass das koordinierende Institut die Reisenormale herstellt, also mindestens 25, und ihnen einen gravimetrischen Referenzwert zuteilt, der mit einer Messung bestätigt wird. Anschliessend werden diese Gasgemische gleichzeitig sternförmig an die teilnehmenden Institute versandt, wo sie mit deren nationalen Normalen verglichen werden. Schliesslich kehrt die Flasche mit einer noch genügenden Restmenge an Gasgemisch zurück zum koordinierenden Institut, wo ein letztes Mal gemessen wird, um zu bestätigen, dass das Gasgemisch während des Vergleichs stabil geblieben ist. Eine ringförmige Organisation, bei der eine Flasche von Institut zu Institut reisen würde, ist allein wegen der zur Verfügung stehenden Gasmenge sowie aus zeitlichen Gründen nicht praktikabel.

Strategie und Messaufbau von METAS

Das Labor *Gasanalytik* des METAS wollte keinen ausserordentlichen Aufwand für die Messung betreiben, sondern orientierte sich an der Methodik, die normalerweise für den Vergleich von CO-Gemischen eingesetzt wird. Unterteilt in zwei Bereiche von



1 Das System für die Verdünnung der Referenzgase des METAS basiert auf CMOSens-Massendurchflussreglern und der Messung der Durchflüsse mit Molbox-Molbloc-Systemen.

CO in Stickstoff, nämlich von $40 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ bis $200 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ und von $1 \text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ bis $50 \text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$, werden unbekannte Gemische mittels Gas-Chromatografen (GC) mit Flammenionisationsdetektor (FID) mit dem METAS-Referenzgasgemisch verglichen und quantifiziert. Für CO wird vor der Detektion noch eine katalytische Hydrierung zu Methan durchgeführt. Der METAS-Gas-Chromatograf wurde im Jahr 2006 erneuert und mit einer totvolumenarmen Autosamplerstation ausgerüstet (siehe mittleres Bild auf Seite 1). Die vollständig automatisierte Anlage mit aufwendiger Kontrolle der Druckverhältnisse erreicht so exzellente relative Streuungen von 0.02 % bis 0.05 %, je nach Konzentration der Gasgemische.

Durch den tiefen Nennwert des Reisenormals von $5 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ wurde es aber nötig, einen zusätzlichen dynamischen Verdünnungsschritt für die beiden eingesetzten METAS-Normale einzubauen. Dieser Verdünnungsschritt, der schon in anderen Vergleichen [4] eingesetzt wurde, wird mit der hochgenauen Durchflussmessung mittels Molbox-Molbloc-Systemen quantifiziert (Bild 1), was eine zusätzliche Messunsicherheit von nur gerade 0.2 % verursacht. Insofern wurde also mit dem in Illustration 2 dargestellten Aufbau nicht nur die Gruppe der Gasgemischnormale validiert, die das nationale Normal darstellen, sondern auch die Fähigkeit, die Gasgemische unmittelbar vor der Analyse noch auf die gefragten Stoffmengenanteile zu verdünnen.

Spezieller Aufwand wurde für die Spurenanalytik des Verdünnungsgases betrieben. Gerade unbekannte Verunreinigungen von Kohlenmonoxid in diesem hochreinen Stickstoff würden den Stoffmengenanteil in den Referenzgasgemischen massiv erhöhen. So würde beispielsweise eine Verunreinigung von nur $10 \text{nmol} \cdot \text{mol}^{-1} = 1$ Teilchen auf 100 Millionen –, eine systematische Abweichung von + 0.2 % verursachen. Deshalb kam das hoch empfindliche, nicht dispersive Infrarot-Gerät (NDIR) in Kombination mit einem geheizten Gasreiniger *MonoTorr* zum Einsatz.

Eine Vielfalt an Mess- und Kalibriermethoden

Dass die übrigen 24 Institute nicht die gleiche Strategie wählten wie METAS, liegt auf der Hand. Bei der Analytik arbeitete rund die Hälfte der teilnehmenden Institute mit GC-FID und Methaniser; ein weiterer grosser Teil machte seine Messungen mit NDIR-Geräten, und einige wenige Institute benützten Geräte, die auf dem Prinzip der Gas-Filter-Korrelation beruhen oder arbeiteten mit Fourier-Transform-Infrarot-Geräten (FTIR).

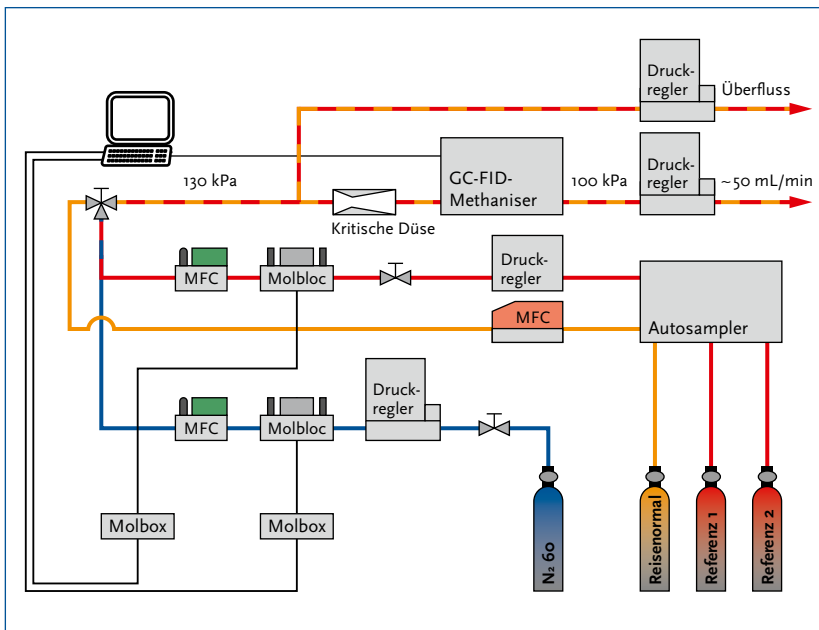
Was die Wahl der Referenzen und die Kalibriermethoden anbelangt, ist die Vielfalt noch um einiges grösser. Ein bis acht Referenzgasgemische wurden für die Kalibrierung des Analysators verwendet. Die meisten davon waren eigene oder eingekaufte gravimetrische Verdünnungen nach ISO 6142 [5], hergestellt in bis zu vier Stufen. Aber auch die statische Verdünnung mittels Druck- oder Volumenmessung nach ISO 6144 [6] kam zur Anwendung oder eine Kombination von gravimetrischer und dynamischer Verdünnung nach ISO 6145-7 [7].

Für die Analyse der Messungen von Kalibriernormalen und des Reisenormals hat sich die Mehrheit der Institute auf die etablierte Methode der Ermittlung einer linearen oder quadratischen Analysenfunktion verlassen, wie sie in ISO 6143 [8] beschrieben ist und mit der Softwareapplikation «B-Least» durchgeführt werden kann. Einige wenige wandten die sogenannte Bracketingmethode oder die Verhältnismethode an.

Abweichung innerhalb der Unsicherheit

Da der Bericht über diesen Vergleich noch nicht in seiner definitiven Form erschienen ist, können die Resultate nur in allgemeiner Form interpretiert werden. Das Resultat des METAS ist sehr gut ausgefallen, denn die Abweichung vom Referenzwert ist mit 0.37 % kleiner als die angegebene Unsicherheit von 0.54 %. Diese Unsicherheit beinhaltet sowohl Beiträge der beiden eingesetzten Normale von $80 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ CO in Stickstoff und $130 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ CO in Stickstoff sowie den Verdünnungsschritt auf ca. $5 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ CO in Stickstoff und den Beitrag aus der Spurenanalytik. Die Abweichung ist im Wesentlichen durch den Umstand begründet, dass das im Bereich der Nachweisgrenze gefundene CO des Verdünnungsgases nicht korrigiert, sondern in die Unsicherheit eingerechnet wurde.

Mindestens 19 der teilnehmenden Institute lieferten ebenfalls Wertebereiche für die Messung ihrer Reisenormale, die mit dem Referenzwert in Übereinstimmung sind. Definitiv sind diese Zahlen noch nicht, da insbesondere die Unsicherheit des Referenzwerts noch nicht endgültig feststeht. Im Protokoll zu diesem Vergleich wurde zwar akzeptiert, dass der Referenzwert der aus der gravimetrischen Herstellung ermittelte Wert mit entsprechender Unsicherheit sein soll. Trotzdem sind bei der Präsentation des ersten Berichtentwurfs im Oktober 2008 neue Diskussionen über die korrekte Unsicherheitsermittlung entstanden. Daher ist es bis heute noch nicht möglich, die sogenannten Grade der Übereinstimmung mit den zugehörigen Unsicherheiten zu ermitteln.



Druck-regler	Mechanischer Absolutdruckregler
Druck-regler	Elektronischer Absolutdruckregler
MFC	CMOSens-Massflow- Controller
MFC	CMOS-Massflow- Controller
Molbloc	Molbloc Laminar Flow Element

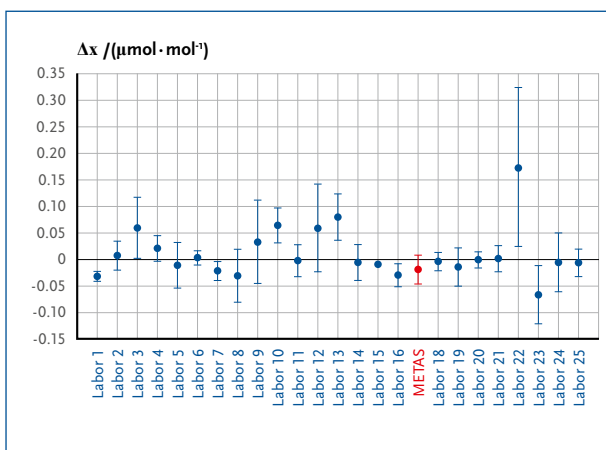
2 Messaufbau, wie er für den Vergleich des Reisenormals mit den METAS-Referenzgasgemischen verwendet wurde.

Zwei weitere generelle Erkenntnisse können aus dem in Diagramm 4 dargestellten Datensatz abgeleitet werden: Zum einen stimmen die erfahrenen Spitzeninstitute bei relativen Unsicherheiten von $< 0.3\%$ immer noch bestens mit dem jeweiligen Referenzwert überein. Das bestätigt auch die Qualität der hergestellten Reisenormale. Zum anderen gibt es keine Korrelation zwischen der Differenz zum Referenzwert, weder mit der Wahl der Kalibriermethode noch mit der Analysenmethode. Es kommt also vielmehr aufs «Wie» als aufs «Womit» an.

Sobald der definitive Bericht vorliegt, wird er auf der Homepage <http://kcdb.bipm.org> des *Internationalen Büros für Mass und Gewicht (BIPM)* veröffentlicht.

Referenzen

- [1] Jean-François Perrochet : Gaz de référence pour le mesurage d'émission de polluants : principes et pratique, OFMETInfo, Vol. 1, Nr. 2, 1994.
- [2] G. Niewenkamp, A. M. H. van der Veen: Discrepancy in infrared measurement results of carbon monoxide in nitrogen mixtures due to variations of the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratio, Accred. Qual. Assur., 10, pp. 506–509, 2006.
- [3] Bernhard Niederhauser: Kompetenz bei Messungen von Stickstoffmonoxid bestätigt, METInfo, Vol. 14, Nr. 2, pp. 18–19, 2007.
- [4] www.bipm.org/utis/common/pdf/final_reports/QM/K26/CCQM-K26.a.pdf.
- [5] International Organization for Standardization, ISO 6142:2001: Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures, Gravimetry method, Second edition, 2001 (E).
- [6] International Organization for Standardization, ISO 6144:2003: Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures – Static volumetric method.
- [7] International Organization for Standardization, ISO 6145-7:2009: Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 7: Thermal mass flow controllers.
- [8] International Organization for Standardization, ISO 6143:2001: Gas analysis – Comparison methods for determining and checking the composition of calibration gas mixtures.



3 Resultate des Messvergleichs CCQM-K51: Die Punkte geben die Abweichung zum gravimetrischen Referenzwert in $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ CO in Stickstoff an und die Unsicherheiten stehen für die von den Instituten deklarierten erweiterten Unsicherheiten für ein Vertrauensniveau von 95 % ($k = 2$). Die Unsicherheiten des Referenzwerts sind in dieser Darstellung noch unberücksichtigt.

EURAMET Inspired by Particles

Within the framework of the EURAMET Project «Comparison of nanoparticle number concentration and size distribution» the particle number concentration and size distribution in a neutral combustion aerosol were measured with two types of instruments. The experimental work of this project was hosted at METAS. The results for number concentrations show a clear difference between the particle counters and the sizers. The particle size distribution was measured using three measurement principles; expected deviations between measurements based on different principles have been found.

JÜRGEN SCHLATTER

The experimental work for EURAMET Project 1027 «Comparison of nanoparticle number concentration and size distribution» was hosted on 27 and 28 November 2008 at METAS.

Environment and Goals

The particle number concentration and size distribution in a neutral combustion aerosol were measured with two types of instruments. First, the number concentration was measured with particle counters that do not evaluate the particle size. Second, the particle size distribution was measured through the combination of a particle size classifier and a particle counter. Particle size distributions can be characterised by the (total) particle number concentration and the geometric mean size. However, this analysis depends on instrumental parameters as well as on algorithms incorporated in the manufacturer’s software. Thus, the separate comparison of simple number concentration allows the participants a direct comparison of their particle counters.

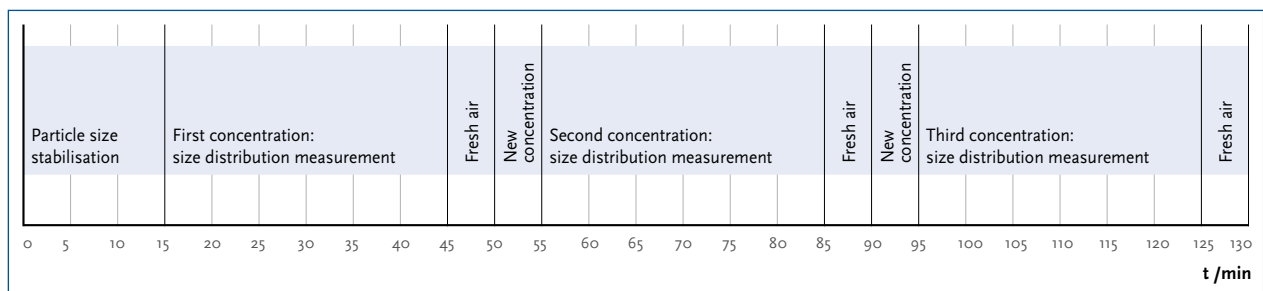
The comparison used continuously generated combustion aerosol in a combustion aerosol standard (CAST, [1, 2]). The reported measurements of the comparison were: average particle number concentrations at several points between 10^3 cm^{-3} and 10^6 cm^{-3} ; average particle size at several points between 50 nm and 170 nm. The size is defined as the geometric mean of the size distribution and corresponds to the diameter of a sphere having the equivalent electrical mobility diameter. Degrees of equivalence (DoE) were calculated for these quantities.

Execution

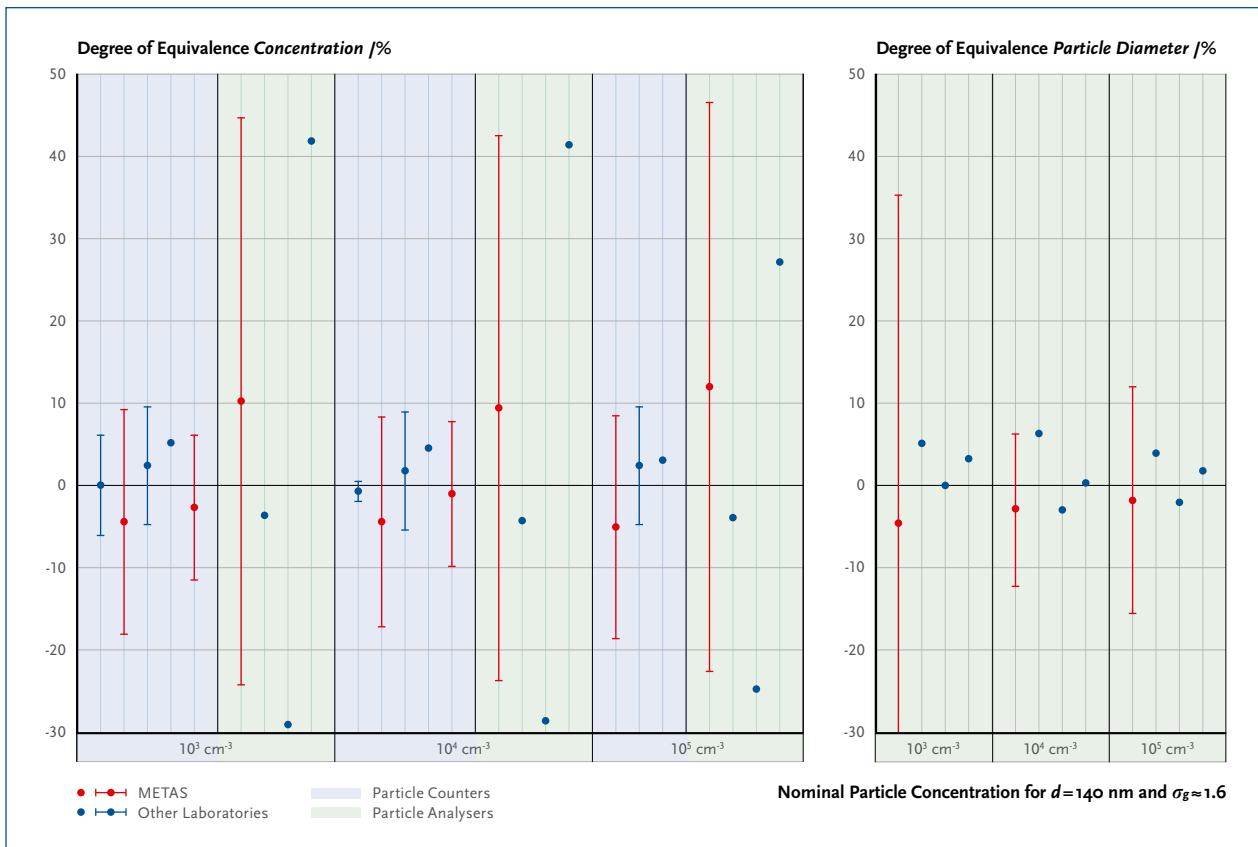
Participation in this comparison was open to metrology institutes and designated institutes in this field. The following institutes joined the comparison: DFM (DK), FORCE (DK), METAS (CH), NPL (UK), UBA (DE), AIST (JP). Three categories of instruments were involved: those measuring particle size distributions (4 particle sizers); those measuring particle number concentration without any size information (5 particle counters); and imaging instruments providing supplementary size information.

The measurements consisted of a series of 14 measuring points with a «natural» particle size distribution (geometric standard deviation $\sigma_g \approx 1.6$) and a series of 6 measuring points with a «monodisperse» particle size distribution ($\sigma_g \approx 1.1$). For the generation of «natural» and «monodisperse» particle distributions two types of setup were necessary. The «natural» particle distribution is generated by combustion processes in the CAST. The «monodisperse» particle size distribution is a combustion aerosol with a selected particle size from a DMA (differential mobility analyzer [3]). Therefore it is not actually monodisperse, it contains also larger particles. When particles of a certain electrical mobility are selected by the DMA, the selection also contains double charged particles with larger diameter.

The aerosol was prepared and fed to the instruments for 30 minutes for each size/concentration combination. All the relevant concentrations at a specific particle size distribution were supplied before changing the size distribution. The general schedule is shown in illustration 1. During the measurement the time was used for discussions and exchange of the experience (Picture 3).



1 Measurement schedule for one particle size with three number concentrations.



2 Comparison of concentration (diagram on the left) and size (diagram on the right) measurements for natural size distribution at the three concentrations 10^3 cm^{-3} , 10^4 cm^{-3} and 10^5 cm^{-3} . The bars indicate the uncertainties ($k = 2$).

Results for Number Concentrations

The number concentration was directly measured with five condensation particle counters (CPC) and also calculated from three particle sizers, two scanning mobility particle sizers (SMPS) and one electrical low pressure impactor (ELPI). As reference values [4], the results from all of the CPCs were averaged without any weighing, providing the concentration was within the calibrated range of the CPC. Where possible, the uncertainty of measurements is indicated.

The results for the «natural» size distribution and «mono-disperse» particle distribution show a clear difference between the particle counters and the sizers (diagram 2, left hand side):

- The particle counters agreed within ± 5 % for all particle diameters and all particle concentrations.
- Particle sizers in many cases indicated concentrations that deviated by around 20 % from the particle counters.
- Relatively higher number concentrations were observed for smaller particles (70 nm) compared to larger particles (170 nm) in the particle sizing instruments. This may be due to the diffusion correction software within the SMPS instruments. All SMPS users applied the diffusion correction for the size distribution calculation that is provided by the instrument manufacturer. The algorithm for this correction

is proprietary. Because the diffusion losses are higher for small particles, the application of the correction algorithm is more important for smaller particle diameters (e.g. for particles with 70 nm and $\sigma_g = 1.6$, the concentration increases by 35 % with the diffusion loss correction).

- The ELPI uses a different measuring principle and is designed for larger particles. The particle sizes within this comparison were not in the optimal measuring range of the ELPI, and so both size resolution and concentration measurements from the ELPI were not expected to be in good agreement with the SMPS measurements.

Results for Size Analysis

The particle size distribution was measured using three measurement principles giving different size information for the particles: a) SMPS measuring the electrical mobility diameter of the particle; b) ELPI measuring the aerodynamic (Stokes) diameter; c) AFM giving an image based on physical dimensions and allowing the calculation of the particle height and volume.

Deviations between measurements based on different principles are expected. The most important difference between mobility diameter and aerodynamic diameter is that the aerodynamic diameter is affected by the mass of the particle.



3 Experts from several National Metrology Institutes discuss about the right size definition.

The particle size was compared in this study via the geometric mean of the measured size distribution. The size distribution data was cropped such that only the primary peak was considered. The calculation was performed by the software from the instrument manufacturer. The reference values for the particle diameter are calculated for geometric mean as the average from the three SMPS-systems.

Diagram 2, right hand side, shows an example for the comparison of the geometric mean of the size distribution:

- The results from the SMPS's deviate by less than 5 % for all sizes.
- A slight tendency for smaller deviations can be observed at higher concentrations.
- For the «natural» size distributions, a very small influence of cropping can be observed for the mode and the geometric mean.
- All SMPS users applied a diffusion loss correction for the size distribution calculation that is provided by the instrument manufacturer. The algorithm for this correction is proprietary. Because the diffusion losses are higher for small particles, the application of the correction algorithm shifts the geometrical mean towards smaller particles (e.g. for particles with 70 nm and $\sigma_g = 1.6$ the shift reaches 10 %).
- The ELPI results were lower than the SMPS results by 10 % to 30 % depending on size and type of measure. The best correspondence between aerodynamic and mobility diameters was found at 140 nm. The deviation by the ELPI has various possible reasons:
 - a) different charging methods (ELPI: unipolar charging, SMPS: neutralising);
 - b) different counting methods requiring different analysing algorithms (ELPI: electrometer; SMPS: condensation particle counter);

- c) different size measurands (ELPI: aerodynamic diameter using an assumption for the particle density, SMPS: mobility diameter),
- d) the size resolution of ELPI is inadequate for this experiment.

The actual values of air viscosity and mean free path length due to the altitude of METAS (550 m above sea level with an average ambient pressure of 950 hPa) have been neglected for this experiment. Future experiments should consider these factors.

Results of Visualisation

DFM (DK) used another particle sizing principle: the atomic force microscope (AFM). For this, particles were trapped on sample discs that were exposed to an aerosol flow of 500 mL/min for 30 minutes at the highest concentrations.

Geometrical analysis of single particles was integrated with the observed structure of the agglomerates and resulted in particle volumes being calculated. The volumes were compared to those of spheres with the SMPS mobility diameters. This first order comparison gives reasonable agreement.

Future Work

The goal for future work is to find common definitions and procedures for measuring particle number concentrations and size distributions at metrology institutes. These procedures must be relevant to real applications.

These measurements can then be incorporated into the metrology framework used for other analytical measurements, with a process of key comparisons, calibrations and measurement capabilities (CMCs), within the auspices of BIPM: <http://kcdb.bipm.org/>.

The following points should be considered when organising future comparisons:

- Separating size distribution comparisons from number concentration comparisons.
- Which particle types shall be used?
Combustion particles, oil droplets, NaCl, polystyrene spheres, NH₄SO₄, TiO₂, etc. The chemistry of particles is specific for the field of application.
- Which size range?
23 nm, 50 nm, and 70 nm are important for the automotive industry (UNECE regulation 83); 70 nm is important for ambient studies.
- Which size distribution width?
Monodisperse: $\sigma_g < 1.1$ (artificial test aerosol); unimodal: $\sigma_g > 1.3$ (combustion aerosol); multimodal (ambient aerosol).

References

- [1] Lianpeng Jing: Standard Combustion Aerosol Generator for Calibration Purposes, Proceedings of the 3rd ETH-Conference on Nanoparticle Measurement, August 1999.
- [2] Lianpeng Jing, J. Santos: Stability with respect to particle size and concentration of CAST, Proceedings of the 7th ETH-Conference on Nanparticle Measurement, August 2003.
- [3] ISO 15900:2009: Determination of particle size distribution – differential electrical mobility analysis for aerosol particles.
- [4] CCQM KCRV WG, data evaluation principles for CCWM key comparisons, 19 March 2008.



multanova
SWISS

DIE VERKEHRSÜBERWACHER.

Aathalstrasse 84
CH-8613 Uster 3

Tel: +41 43 288 28 28
Fax: +41 43 288 28 29
E-Mail: info@multanova.ch
www.multanova.ch

Excellent Quality of METAS' Scattering Parameters in the Type-N Line System

Together with 18 other National Metrology Institutes (NMI), METAS participated in a key comparison of scattering parameters in the coaxial line system covering a frequency range from 2 GHz to 18 GHz. The results confirm the outstanding quality of METAS metrological services in this particular field.

JÜRIG RÜFENACHT, MARKUS ZEIER

S-parameters (box 1) are among the most fundamental quantities in RF & MW metrology. The knowledge about their characteristics is often required for a proper determination of other basic quantities as e.g. RF power or pulse parameters. The accurate determination of S-parameters is a demanding task, which requires good operator skills, metrology grade equipment and a deep understanding of the measurement process to take all influences into account that might affect the measurements. The RF & MW laboratory at METAS has various research and development activities [1] in this metrological field to meet the increasingly demanding requirements of the industry.

Key Comparison of Complex-valued S-Parameters

This key comparison, designated as CCEM.RF-K5b.CL within the notation scheme of the *International Bureau of Weights and Measures (BIPM)*, aimed at the measurement of S-parameters by broad-band methods at frequencies between 2 GHz

and 18 GHz. Nineteen National Measurement Institutes (NMI) participated in the exercise, which took place between June 2003 and October 2006. Seven devices with Type N precision connectors were used as the travelling standards, three attenuators (3 dB, 20 dB, 50 dB), two matched terminations (male and female) and two mismatched terminations (male and female with reflection coefficients of approximately 0.33).

The participants were asked to provide complex-valued S-parameters for a defined list of frequencies together with combined standard uncertainties and an uncertainty budget as well as information about the measurement setup.

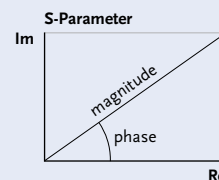
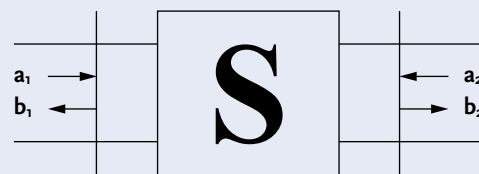
The National Physical Laboratory (NPL), United Kingdom, which acted as pilot laboratory, performed regular stability checks of the devices, which remained stable, except the 3 dB attenuator, which experienced a step change during the measurement loop. Since the stability measurements covered both states of the device, it was still possible to use most of the data for further evaluation.

S-parameters are used to characterise reflective and transmissive behaviour of a device upon impact of a high frequency electromagnetic signal. The illustration schematically represents the situation for a two-port device (e.g. an attenuator) with input signals applied to both ports. If the device is linear, the output signals can be defined in terms of the input signals. Thus,

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2$$

with the signal amplitudes a_1 , a_2 , b_1 and b_2 and the scattering parameters S_{ij} . The scheme can be generalised to n ports and the equations can be written more economically in matrix form $\mathbf{b} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{a}$ with the S-parameters contained in the scattering matrix \mathbf{S} and the column vectors \mathbf{a} and \mathbf{b} containing input and output signal amplitudes, respectively.



S-parameters are two-dimensional quantities either described in polar coordinates with magnitude and phase or as complex numbers with real (**Re**) and imaginary (**Im**) parts. They can be measured with vector network analysers.

1 Scattering Parameters (S-Parameters).

Advanced Analysis of the Comparison Data

Measurement comparisons in RF & MW typically create comparably large amounts of data because data is collected over a wide frequency range. This is done for good reason, because the frequency response often provides valuable information about the behavior of a measurement system. For further analysis however, only a subset of the available data was chosen to keep the analysis effort and the data output at a tolerable level. Nevertheless, the final report [2] has a size of more than 250 pages, despite these restrictions.

The guidelines of the BIPM require the pilot laboratory to calculate a key comparison reference value (KCRV) as the best estimate of the actual value of the measurand and degrees of equivalence (DoE), unilateral and bilateral, being a measure of the agreement of submitted data with respect to the KCRV and with respect to the other participants, respectively.

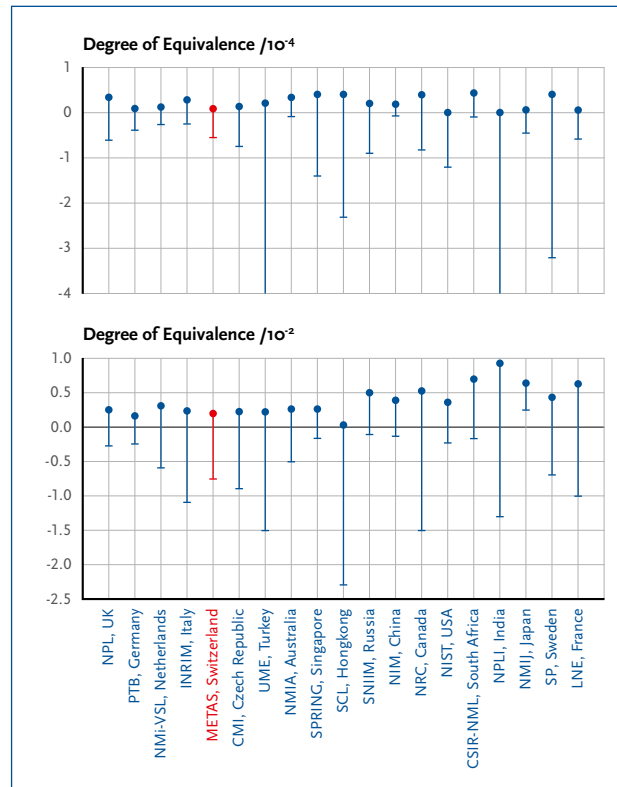
This task is complicated by the fact, that S-parameters are complex-valued quantities. While many publications are available, which address methods of the analysis of measurement comparisons, they almost exclusively deal with scalar measurands.

METAS proposed a method of analysis of complex-valued quantities, or more general vector quantities, when it acted as pilot laboratory in an earlier supplementary S-parameter comparison [3, 4]. Later, METAS refined the method further in a conference paper [5]. NPL basically followed the recipes described in [5] when analysing the data of this intercomparison. A characteristic outcome of this method is the dimensionally reduced DoE shown in diagrams 2 and 3. The one-sided uncertainty bars just underline the fact that the dimensionally reduced DoE is always positive. Besides that, it can be interpreted similarly as the normal DoE: Uncertainty bars crossing the zero line indicate an agreement at the 95 % level or better.

Metrology Software Developed by METAS

Diagrams 2 and 3 are just two examples of several other results at other frequencies and for other travelling standards. The agreement with the KCRVs and among the participants was generally quite good. METAS results in particular show agreement with the KCRVs in all cases.

The intercomparison also showed, that the uncertainties provided by the participants are generally too large. This conservative approach reflects the fact, that the uncertainty evaluation for S-parameter measurements is elaborate and needs improvement. METAS is actively working on a software [6], which will help to remedy the situation.



2 (above) Dimensionally reduced degrees of equivalence for S₂₁ measurements of the 50 dB attenuator at 18 GHz.

3 (below) Dimensionally reduced degrees of equivalence for S₁₁ measurements of the male matched load at 18 GHz.

References

- [1] www.metas.ch/hf.
- [2] Currently in draft B state, will become publicly available on the BIPM key comparison database <http://kcdb.bipm.org> as CCEM.RF-K5b.CL.
- [3] Jürg Rufenacht, Markus Zeier: Scattering Parameter Measurements in the Coaxial 2.4 mm Line System, METinfo, Vol. 12, Nr. 2, pp. 14–16, 2005.
- [4] Jürg Rufenacht, Markus Zeier: EUROMET.EM.RF-S16 Final Report: Comparison of scattering parameter measurements in the coaxial 2.4 mm line system, Metrologia, 42, Tech. Suppl., 01001, 2005.
- [5] Markus Zeier: On the analysis of multidimensional quantities in measurement comparison, CPem 2006 Conference Digest, Torino, pp 458–459, July 2006.
- [6] VNA Tools II project, see www.metas.ch/hf.

Oberflächenanalyse an Avogadro-Kugeln durchgeführt

Die Spezialisten des METAS-Masselabors haben an zwei isotopenreinen Avogadro-Kugeln chemische Oberflächenanalysen durchgeführt. Diese Kugeln aus Silizium-28 (Si-28) stehen im Zentrum des Avogadro-Projektes, das die Neudefinition des Kilogramms zum Ziel hat. Zum ersten Mal konnte die chemische Zusammensetzung der Oberflächenschichten direkt an diesen Kugeln bestimmt werden. Die beteiligten Metrologen gewannen dadurch wichtige Informationen über den Aufbau der Kugeloberfläche.

PETER FUCHS

Zur Neudefinition des Kilogramms werden weltweit grosse Anstrengungen unternommen. Mit Watt-Waage-Projekten – so auch am METAS – verfolgen die Metrologen das Ziel, die Masse-Einheit auf Naturkonstanten zurückzuführen. Ein anderer Ansatz wird im Avogadroprojekt gewählt: Mittels einer «perfekten» und isotopenreinen Siliziumkugel, die eine genau bekannte Anzahl von Atomen enthält, soll das Kilogramm realisiert werden. Die verschiedenen Projekte haben eines gemeinsam: alle Eigenschaften der künftigen Repräsentanten der Masse-Einheit müssen sehr genau bekannt sein.

Im Avogadroprojekt arbeitet man mit Kugeln aus einkristallinem und isotopenreinem Silizium. Dadurch hat man die Eigenschaften des Festkörpers mit der nötigen Präzision im Griff. Ein Problem bleibt jedoch bestehen: die Oberflächenbeschaffenheit

dieser Artefakte. Diese ist unter anderem stark von den Herstellungsprozessen geprägt. Der Aufbau der Oberflächenschicht ist zudem abhängig von der Umgebung: Atmosphärendruck und Verschmutzungen können sich ablagern und damit die Artefakte verändern. Der Erfolg des Avogadroprojektes steht und fällt mit der genauen Kenntnis der Dicke und chemischen Zusammensetzung der Oberflächenschicht dieser Kugeln.

Massebestimmung und Oberflächenanalyse unter identischen Bedingungen

Am METAS hat man die Problematik der Oberflächeneffekte an Massenormalen sehr früh erkannt. Bereits im Jahr 2004 wurde das Projekt «Kombinierte Methoden» gestartet. Ziel dieses Projektes war der Aufbau einer Apparatur, mit der man gleichzeitig und unter identischen Bedingungen Massebestimmungen und chemische Oberflächenanalyse an realen Massenormalen und Artefakten durchführen kann.

Das Ziel des Avogadroprojektes ist es, die Masse-Einheit *Kilogramm* neu über eine spezifische Anzahl von Silizium-Atomen in einem perfekten Silizium-Kristall zu definieren. Die Periodizität der Kristallstruktur erlaubt es, die Anzahl Atome in einem makroskopischen Volumen abzuzählen. Die Avogadrokonstante ermöglicht die Verknüpfung von mikroskopischer und makroskopischer Masse; sie definiert die Anzahl Silizium-Atome in einem Mol.

Theoretisch scheint dieses Verfahren sehr einfach zu sein, praktisch ist es jedoch mit einer ganzen Reihe von Problemen verbunden: Natürliches Silizium besteht aus mehreren Isotopen, das heisst, dass nicht jedes Si-Atom gleich schwer ist. Aus diesem Grund benötigt man für das Avogadroprojekt isotopenreines Silizium. Der Kristall muss möglichst perfekt sein und darf keine Gitterfehler und Verunreinigungen aufweisen.

Glücklicherweise hat die Halbleiterindustrie sehr viel Erfahrung in der Herstellung von Silizium: Heute lassen sich fast perfekte und mehrere kg schwere Si-Kristalle herstellen. Die Oberfläche von natürlichem Silizium ist oxidiert. Die

Schichtdicke dieser Glasschicht ist bei der optischen Volumenbestimmung nicht sichtbar, muss also mit anderen Methoden bestimmt werden.

Trotz der überaus grossen Herausforderungen wurde das internationale Avogadroprojekt in Angriff genommen, das die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, koordiniert. Der Rohstoff, isotopenreines Si-28, wurde von mehreren russischen Instituten hergestellt und im Institut für Kristallzüchtung in Berlin zu einem zylindrischen Einkristall weiterverarbeitet. Mittels Infrarotspektroskopie bestimmte die PTB die chemische Reinheit dieses Einkristalls.

Anschliessend formten die Spezialisten des australischen Metrologieinstituts in Sydney aus diesem Einkristall zwei nahezu perfekte Kugeln und polierten sie. Zurück an der PTB, wurden diese sehr kostbaren Kugeln – Kostenpunkt mehrere Millionen Franken – weiter ausgemessen: Ihre Masse, ihr Volumen, ihre Topographie und die Oberflächenschicht wurden bestimmt. Mit elementspezifischen XPS-Messungen leistet auch METAS einen wesentlichen Beitrag an das Avogadroprojekt.

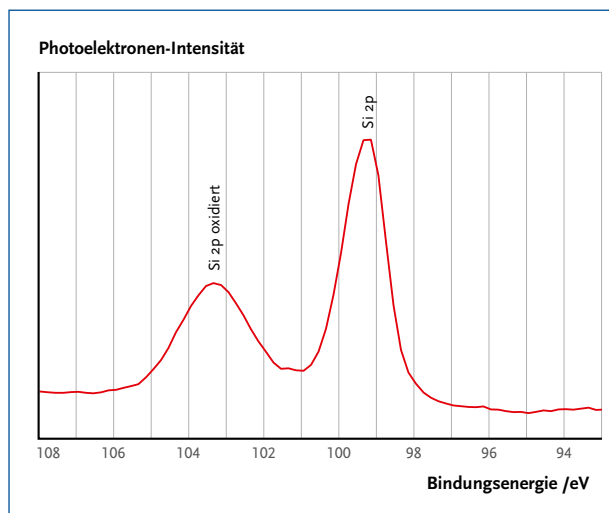
¹ Atome zählen: das Avogadroprojekt

1 Eine der beiden Si-28-Kugeln des internationalen Avogadroprojektes wird in die XPS-Kammer des METAS eingeführt, um ihre Oberfläche zu analysieren. Der Durchmesser dieser Kugeln beträgt rund 93 mm und variiert lediglich um 30 nm bis 50 nm, die Messunsicherheit ein paar Zehntel nm. Die METAS-XPS-Anlage ist weltweit die einzige, auf der die Oberflächen solcher grosser und schwerer Artefakte elementenspezifisch analysiert werden können.



Herzstücke der Anlage sind ein 1kg-Massekomparator und die Röntgenphotoemission (XPS), mit deren Hilfe die chemische Zusammensetzung der Oberfläche untersucht wird. Mit XPS erreicht man genau die Oberflächenempfindlichkeit, die für diese Untersuchungen nötig ist. Im Gegensatz zu anderen Methoden liefert XPS auch elementenspezifische, quantitative Informationen. Dadurch eignet sich diese weit verbreitete und anerkannte Methode hervorragend für solche Fragestellungen.

Mit der METAS-XPS-Anlage können Massennormale und Silizium-Kugeln untersucht werden, deren Masse bis 1 kg und deren Durchmesser bis 100 mm betragen. Das ist weltweit einzigartig. Die Eigenschaften dieser Anlage sind besonders auch für das Avogadroprojekt interessant.



2 Si-2p-Photoelektronen-Spektrum der Si-28-Avogadro-Kugel: An der Oberfläche ist das Silizium zu SiO_2 oxidiert. Dadurch ändern sich die elektronischen Niveaus der Si-Elektronen und ein zweiter Peak erscheint, der um +4 eV zu höheren Bindungsenergien verschoben ist. Aus dem Verhältnis der beiden Peakflächen lässt sich die Schichtdicke des Siliziumoxids berechnen.

Oberflächenanalyse dient der Optimierung der Avogadro-Kugeln

Als Testlauf wurden mehreren Siliziumkugeln aus Deutschland und Japan untersucht, die unterschiedliche Herstellungsprozesse durchlaufen hatten. Dabei wurden die Schichtdicke und die Art der Siliziumoxide bestimmt. Die Resultate waren vielversprechend und ergänzten die bereits an der PTB durchgeführten Messungen mit Ellipsometrie und Röntgendiffraktion. Die Erkenntnisse führten unter anderem dazu, dass die Herstellungsprozesse der Kugeln optimiert werden konnten.

In der Folge entschloss sich die Leitung des Avogadroprojektes, die beiden «richtigen», isotonenreinen Si-28-Kugeln ebenfalls am METAS ausmessen zu lassen. Im August reisten Dr. Ingo Busch und Dr. Ulrich Kuetgens, die Verantwortlichen der PTB für die Charakterisierung von Oberflächen, mit den beiden Avogadro-Kugeln nach Wabern. In den folgenden Tagen wurden die Si-28-Kugeln im Masselabor mit XPS ausgemessen, das heisst Schichtdicke und chemische Zusammensetzung der Oberflächen bestimmt. Die gewonnenen, teilweise auch überraschenden Erkenntnisse sind für den weiteren Verlauf des Avogadroprojektes sehr hilfreich. Die Ergebnisse beeinflussen auch massgeblich die weiteren Bearbeitungsschritte, welche die Kugeln zu durchlaufen haben, um ihrem Zweck noch besser zu dienen.

Referenzen

- [1] Peter Fuchs: Dem Kilogramm auf der Spur, METInfo, Vol. 13, Nr. 1, pp. 24–25, 2006.
- [2] Peter Becker: Die teuersten Kugeln der Welt, PTB-News, 08.1, 2008.
- [3] Peter Becker: Avogadro Project: first isotope-pure silicon single-crystal, PTB-News, 05.3, 2005.

Der Betrieb des Zeitzeichensenders HBG wird auf Ende 2011 eingestellt

Am 26. August beschloss der Bundesrat, den von METAS betriebenen Zeitzeichensender HBG in Prangins (VD) auf den 31. Dezember 2011 stillzulegen. Die Sanierungskosten wären zu hoch. Selbstverständlich wird METAS die Schweizer Zeit weiterhin erarbeiten und verbreiten, z. B. über den Zeitserver ntp.metas.ch, sowie Zeit- und Frequenznormale hoch genau kalibrieren. **La version française de cet article se trouve à la page 30.**

ANDRÉ STEFANOV, RUDOLF THALMANN

Der Langwellensender HBG in Prangins (VD) verbreitet seit 1966 auf einer Frequenz von 75 kHz offizielle, auf die koordinierte Weltzeit abgestimmte Zeitzeichen. Die exakt mit einer Atomuhr synchronisierten Zeitinformationen können für die Steuerung von Funkuhren und für technische Zeitsteuerungen verwendet werden. Der Sender arbeitet im 24-Stunden-Betrieb. Die Zeitzeichen stehen gratis zur Verfügung und können von jedermann genutzt werden. Der Sender wurde zunächst von der PTT und anschliessend von der Swisscom betrieben. Am 1. Juni 2000 übernahm METAS den Betrieb.

Hohe Sanierungskosten wegen Alterungserscheinungen

Im Rahmen der regelmässigen Unterhaltsarbeiten an der Sendeanlage wurden bei den Antennenmasten an verschiedenen Stellen erhebliche Alterungserscheinungen festgestellt. Expertisen unabhängiger Stellen haben gezeigt, dass ohne eine umfassende Sanierung ein nicht zu verantwortendes Sicherheitsrisiko besteht und der Betrieb des Zeitzeichensenders eingestellt werden muss.

Ein Weiterbetrieb des Zeitzeichensenders HBG in Prangins (VD) würde hohe Sanierungskosten verursachen. Die Nutzung des HBG-Zeitzeichens ist zu gering, um die Kosten für eine Sanierung rechtfertigen zu können. Das hat eine externe

Studie ergeben. Abgeklärt wurde auch, ob Zusatznutzungen des Langwellensenders oder die Übernahme des Betriebs durch andere Interessenten möglich wären, was nicht der Fall ist. Aus diesen Gründen wurde beschlossen, den Betrieb des Senders auf Ende 2011 einzustellen.

Frühzeitiger Entscheid zu Gunsten einer reibungslosen Umstellung

Der Entscheid zur Einstellung wurde frühzeitig gefällt, damit Nutzer des Zeitzeichensignals rechtzeitig geeignete Massnahmen treffen können. Es gibt rund 3600 institutionelle Nutzer (Betreiber von Kirchturm- und Schulhausuhren). Deren Uhren können mit vertretbarem Aufwand auf das Signal des deutschen Zeitzeichensenders DCF77 umgestellt werden, das in der Schweiz mit vergleichbarer Qualität wie dasjenige des Senders HBG empfangen werden kann.

Weiter existiert ein gewisser HGB-Konsumgütermarkt (Funkwecker, deren Empfänger auf die Frequenz des Senders HBG ausgelegt sind; Empfänger für aktuelle Wetterinformationen). Viele dieser Geräte sind mit Empfängern ausgerüstet, die sowohl auf den Sender HBG wie auch auf den deutschen Sender DCF77 ausgelegt sind: Sie werden weiterhin einwandfrei funktionieren. Der grösste Teil solcher Geräte auf dem Markt ist ohnehin nur auf diesen deutschen Zeitzeichensender ausgelegt; das gilt etwa für alle Funkarmbanduhren.



Bei Unterhaltsarbeiten wurden an den Masten der 43-jährigen Sendeanlage erhebliche altersbedingte Schäden festgestellt. Weil sich – angesichts der geringen Nutzung – die erforderliche Sanierung nicht rechnet, wird der Betrieb des Zeitzeichensenders HBG in Prangins am 31. Dezember 2011 eingestellt.

Des dommages dus au vieillissement ont été constatés lors de travaux d'entretiens sur les mâts de l'installation, vieille de 43 ans. Les réparations nécessaires étant – au regard de la faible utilisation – trop importantes, l'exploitation de l'émetteur de signaux horaires HBG de Prangins sera arrêtée le 31 décembre 2011.



METAS wird den Langwellensender HBG in Prangins bis am 31. Dezember 2011 mit hoher Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit betreiben.

Zeit- und Frequenzverbreitung über den NTP-Server

Bis zum Zeitpunkt der Einstellung des Betriebs, also bis am 31. Dezember 2011, wird METAS den Zeitzeichensender HBG in Prangins weiterhin mit hoher Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit betreiben. Auch nach der Betriebseinstellung des Langwellensenders HBG wird METAS die offizielle Schweizer Zeit weiterhin verbreiten: Unter anderem steht ein Zeitserver im Internet (ntp.metas.ch) zur Verfügung, mit dessen Hilfe Computeruhren mit der offiziellen Schweizer Zeit synchronisiert werden können (siehe Kasten).

Referenzen

- [1] Gregor Dudle: Zeitzeichensender übermittelt Wetterprognosen: Es ist genau leicht bewölkt, METinfo, Vol 13, Nr. 3, 2006.
- [2] Christian Schlunegger: Facelifting am Langwellensender HBG in Prangins, METinfo, Vol. 15, Nr. 1, 2008.

METAS ist für die Realisierung der Masseinheiten in der Schweiz verantwortlich und damit auch für die Einheit der Zeit, der Sekunde. Zu seinen Aufgaben gehört ebenfalls die Ermittlung und Verbreitung der offiziellen Schweizer Zeit UTC(CH). Die Dienstleistungen des Labors für Zeit und Frequenz lassen sich in zwei Kategorien einteilen: Zeitverteilung sowie Kalibrierung von Zählern und Frequenznormalen (siehe unten stehende Tabelle). Zusätzlich werden GPS-Empfänger für Zeitvergleiche kalibriert.

Zeitverteilungsdienste	Unsicherheit gegenüber UTC(CH)
NTP-Server (kostenlos)	10 ms
Modemdienst (kostenlos)	10 ms
Zeitnormale	50 ns

Frequenzkalibrierung	Unsicherheit
mittels Zähler	$4 \cdot 10^{-11}$ Hz/Hz
mittels Phasenvergleich (Genauigkeit 1)	$2 \cdot 10^{-12}$ Hz/Hz
mittels Phasenvergleich (Genauigkeit 2)	$1 \cdot 10^{-13}$ Hz/Hz

Dienstleistungen des METAS im Bereich *Zeit und Frequenz*.

L'émetteur de signaux horaires HBG sera mis hors service fin 2011

Le 26 août dernier, le Conseil fédéral a décidé de mettre un terme à l'exploitation de l'émetteur de signaux horaires HBG fin 2011. L'émetteur de Prangins (VD) est entretenu par METAS et les coûts de rénovation auraient été trop importants. Bien entendu METAS continuera de réaliser et de distribuer le temps suisse par d'autres moyens, comme par exemple le serveur de temps `ntp.metas.ch`, ainsi que de calibrer des étalons de temps et de fréquence. **Die deutsche Version dieses Artikels befindet sich auf Seite 28.**

ANDRÉ STEFANOV, RUDOLF THALMANN

Depuis 1966, l'émetteur HBG de Prangins (VD) diffuse, sur une fréquence porteuse de 75 kHz, des signaux horaires qui sont raccordés au temps universel coordonné. Les informations horaires, synchronisées avec une horloge atomique, peuvent être utilisées pour des horloges radiocommandées ou des appareils techniques. L'émetteur est en service 24 heures sur 24, et la diffusion des signaux horaires par HBG est un service public gratuit. Autrefois, l'émetteur était sous la responsabilité de Telecom PTT, puis sous celle de Swisscom. Depuis le 1^{er} juin 2000, l'émetteur HBG dépend de l'Office fédéral de métrologie (METAS).

METAS est chargé de la réalisation et de la diffusion des unités en Suisse, dont l'unité de temps, la seconde. Il a également pour tâche de réaliser l'heure officielle suisse UTC(CH) et de la diffuser. Les services du laboratoire temps et fréquence se répartissent en deux catégories : distribution de temps et calibration d'étalons de fréquence ou de compteurs (voir tableau ci-dessous). En outre, des récepteurs GPS peuvent être calibrés pour des comparaisons de temps.

Distribution de temps	Incertitude par rapport à UTC(CH)
Serveur NTP (gratuit)	10 ms
Service de modem (gratuit)	10 ms
Par étalon de temps	50 ns

Calibration de fréquence	Incertitude
Par mesure de compteur	$4 \cdot 10^{-11}$ Hz/Hz
Par comparaison de phase (précision 1)	$2 \cdot 10^{-12}$ Hz/Hz
Par comparaison de phase (précision 2)	$1 \cdot 10^{-13}$ Hz/Hz

Services de METAS dans le domaine *temps et fréquence*.

Des coûts de rénovation élevés dû au vieillissement

A l'occasion des travaux d'entretien périodiques effectués sur l'installation émettrice, des signes manifestes de vieillissement ont été observés à plusieurs endroits sur les mâts des antennes. Il est ressorti d'expertises confiées à des spécialistes indépendants que, à moins de procéder à un assainissement complet, l'installation devrait être fermée car elle présentait des risques non négligeables.

Maintenir l'exploitation de l'émetteur HBG de Prangins serait très onéreux : selon une étude réalisée par des experts extérieurs, le signal horaire HBG est trop peu utilisé pour justifier les coûts élevés d'une révision. La possibilité de développer les activités du site, de lui trouver une fonction annexe ou un éventuel repreneur a été examinée, sans succès. Il a donc été décidé de fermer l'installation pranginoise à fin 2011.

Décision précoce pour permettre une transition facile

La décision d'arrêter l'émetteur a été prise assez tôt, pour laisser le temps aux utilisateurs d'adapter leurs horloges au signal de l'émetteur allemand DCF77, qui est capté en Suisse avec une qualité comparable à celle de l'émetteur suisse HBG. Les horloges des quelques 3600 utilisateurs institutionnels (horloges de clochers et horloges scolaires) peuvent être adaptées au signal de l'émetteur allemand avec un investissement raisonnable.

Outre ces utilisateurs institutionnels, il existe un marché d'appareils grand public qui reçoivent les signaux HBG (réveils radiocommandés, récepteurs météorologiques). Beaucoup d'entre eux sont compatibles avec l'émetteur allemand DCF77 et pourront donc continuer à fonctionner parfaitement. La majorité des appareils mis sur le marché sont configurés uniquement pour l'émetteur allemand ; c'est le cas de presque toutes les montres-bracelets radiocommandées.



METAS continuera d'assurer le fonctionnement de l'émetteur HBG de Prangins jusqu'à fin 2011.

Dissémination du temps par serveur NTP

METAS continuera d'assurer l'exploitation de l'émetteur de Prangins (VD) jusqu'à son arrêt fin 2011. Après cette date, l'heure officielle suisse continuera à être diffusée par METAS par d'autres moyens. Un serveur de temps, entre autres, est disponible sur internet (ntp.metas.ch), qui permet de synchroniser les horloges des ordinateurs avec l'échelle de temps suisse (voir encadré à la page 30).

Références

- [1] Gregor Dudle: Zeitzeichensender übermittelt Wetterprognosen: Es ist genau leicht bewölkt, METInfo, Vol 13, Nr. 3, 2006.
- [2] Christian Schlunegger: Facelifting am Langwellensender HBG in Prangins, METInfo, Vol. 15, Nr. 1, 2008.



METAS entretient, sur le toit des nouveaux bâtiments, les équipements de réception et d'émission nécessaires pour raccorder le temps officiel suisse UTC(CH) au temps universel coordonné UTC. L'antenne parabolique (à gauche de la photo) est utilisée pour la comparaison de temps et fréquence par satellite géostationnaire, les trois antennes au milieu de l'image pour des comparaisons par l'intermédiaire du Global Positioning System (GPS).

Auf dem Dach seiner Erweiterungsbauten betreibt METAS Empfangs- und Sendeanlagen, um die offizielle Schweizer Zeit UTC(CH) an die koordinierte Weltzeit UTC anzuschliessen. Die Parabolantenne (links im Bild) wird für den Zeit- und Frequenzvergleich mittels geostationärer Satelliten verwendet, die drei Antennen in der Mitte des Bildes für den Zeit- und Frequenzvergleich mittels Global Positioning System (GPS).

Fachbroschüre Verkehrsmesstechnik

Die Bundesämter für Strassen (ASTRA) und Metrologie (METAS) werden in Kürze eine Fachbroschüre über Verkehrsmesstechnik veröffentlichen. Darin wird die Messtechnik im Dienste der Verkehrssicherheit umfassend erläutert. Die Broschüre wird auf Deutsch, Französisch, Italienisch und Englisch herausgegeben und kann bei METAS kostenlos bezogen werden.

CHRISTIAN ANTENER

Auf 16 Seiten fasst die Fachbroschüre die Anforderungen an Geschwindigkeitsmessmittel (Messgenauigkeit, Messsicherheit, Messbeständigkeit) zusammen und informiert illustrativ darüber, mit welchen Geräten, Verfahren und Methoden vom Radargerät bis zum Nachfahrtachografen Geschwindigkeit im Strassenverkehr gemessen werden kann. Weiter werden die

Aufgaben und Tätigkeiten des Labors *Verkehr* des METAS dargestellt. Die Fachbroschüre erscheint auf Deutsch, Französisch, Italienisch und Englisch und kann ab Januar 2010 bei METAS kostenlos bezogen werden: www.metas.ch/order oder Telefon +41 31 32 33 111.



L'Office fédéral des routes (OFROU) et l'Office fédéral de métrologie (METAS) publieront sous peu une brochure spécialisée sur les systèmes de mesure de la vitesse du trafic routier. Cette brochure est éditée en quatre langues : français, allemand, italien et anglais. Dès janvier 2010, elle pourra être obtenue gratuitement sur www.metas.ch/order au commandée par téléphone au numéro +41 31 32 33 111.

L'Ufficio federale delle strade (USTRA) e l'Ufficio federale di metrologia (METAS) pubblicheranno presto un opuscolo informativo sui diversi sistemi di misurazione della velocità nel traffico stradale. Questa pubblicazione è ottenibile in lingua italiana, francese, tedesca ed inglese. A partire dal gennaio 2010, l'opuscolo potrà essere scaricato gratuitamente da www.metas.ch/order oppure ordinato telefonando allo +41 31 32 33 111.

The Federal Roads Office (FEDRO) and the Federal Office of Metrology (METAS) will shortly publish a specialist brochure on measurement techniques of road traffic. This publication will be available from January 2010 on in English, French, German and Italian. It can be obtained free of charge under www.metas.ch/order or phone +41 31 32 33 111

Agenda

Veranstaltung/Manifestation	Datum/Date	Ort/Lieu
RF and Microwave Calibration Technique Advanced training for the staff of calibration laboratories	25/26 November 2009	METAS, Wabern
METAS-Seminar Einführung in die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) , kostenlos	26. November 2009, 10.00 bis 11.30 Uhr	METAS, Wabern
RF and Microwave Calibration Technique Advanced training for the staff of calibration laboratories	1/2 December 2009	METAS, Wabern
Weiterbildungskurs Grundlagen der elektrischen Kalibriertechnik für Mitarbeitende von Kalibrierlaboratorien	8./9. Dezember 2009	METAS, Wabern

Weitere Informationen sind über www.metas.ch/kurs, info@metas.ch oder Beatrice Steiner, Direktwahl +41 31 32 33 430, erhältlich.

Über die Weihnachts- und Neujahrsfeiertage bleibt METAS wie folgt geschlossen: 24. Dezember 2009 bis 3. Januar 2010

Am Freitag nach Auffahrt bleibt METAS geschlossen: 14. Mai 2010



■ Innovative, ultrapräzise Messgeräte für Geradheit, Rechtwinkligkeit und Länge. Herstellung von hochgenauen Prüfmittel in verschiedenen Materialien. Schweizerischer Kalibrierdienst SCS.

■ Innovative, ultra-precise measuring devices for straightness, squareness and length. Manufacturing of high accurate standards from various materials.

Kunz precision AG
 CH-4800 Zofingen
 Switzerland
 Fon +41 62 746 00 20
mailbox@kunz-precision.ch
www.kunz-precision.ch


S Schweizerischer Kalibrierdienst (Reg.-Nr. 000)
C Service suisse d'étalonnage
S Servizio di taratura in Svizzera
S Swiss Calibration Service



