



# METinfo

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

3/2007



## Réalisation de l'échelle des capacités à METAS

Gesetzliche Metrologie in der Schweiz

Teil 1: Ziele, Nutzen und traditioneller Ansatz

«Fortschritt hängt unmittelbar auch vom Fortschritt bei den Messmöglichkeiten ab»

Interview mit Dr. Wolfgang Schwitz

Upgrades verbessern Ozonmessgeräte

Drei neue Eichstellen im Jahr 2007



Messplatz im Labor zur Bestimmung der elektrischen Kapazität Farad (mehr darüber ab Seite 4).

Place de mesure permettant la réalisation de l'échelle des capacités électriques (lire en page 4).

Apparecchiatura sperimentale per la determinazione della capacità elettrica, Farad (maggiori informazioni a partire dalla pagina 4).

Measurement setup in the laboratory for the determination of the electrical capacitance unit, the farad (read more on this topic, page 4).

## **METinfo**

Zeitschrift für Metrologie, Vol. 14, 3/2007  
Journal de métrologie, Vol. 14, 3/2007  
Rivista di metrologia, Vol. 14, 3/2007  
Journal of Metrology, Vol. 14, 3/2007  
07.12.2007

## **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**

Rudolf S. Wullschleger  
Tel. +41 31 32 33 329  
rudolf.wullschleger@metas.ch

## **Redaktion/Rédaction/Redazione/ Editorial Board**

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

## **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

**ISSN 1660-4733**

ISSN 1660-6094 (Online-Edition)



- 02 **Editorial**
- 04 *Article spécialisé*  
**Réalisation de l'échelle des capacités à METAS**
- 10 *Fachartikel*  
**Gesetzliche Metrologie in der Schweiz**  
Teil 1: Ziele, Nutzen und traditioneller Ansatz
- 16 *Das Interview*  
**«Fortschritt hängt unmittelbar auch vom Fortschritt bei den Messmöglichkeiten ab»**

- 20 *Messvergleich Thermometrie*  
**Fixpunktmessungen bestätigen CMC-Einträge**
- 22 *International*  
**Upgrades verbessern Ozonmessgeräte**
- 24 *International*  
**Bruno Vaucher récompensé par la Médaille OIML**  
*Bruno Vaucher mit OIML-Medaille ausgezeichnet*
- 25 *International*  
**Wie Quanteneffekte für die Metrologie nutzbar gemacht werden**
- 26 *Flash*  
**Der Vergleich historischer Längenmasse zeigt erstaunliche Übereinstimmung**
- 29 *Flash*  
**Étalonnages en pression de haute précision sur 14 décades**
- 31 *Flash*  
**Drei neue Eichstellen im Jahr 2007**
- 31 *Flash*  
**Daten und Zitate aus der Geschichte des Messens**



### Liebe Leserin, lieber Leser

«Zweierlei Gewicht und zweierlei Mass ist beides dem Herrn ein Gräuel». Dieser angeblich auf König Salomo zurückgehende Spruch führt eindrücklich vor Augen, dass die Menschen vor dreitausend Jahren die ähnlichen Sorgen und Nöte kannten, wie wir sie auch heute noch kennen. Es hat immer Menschen gegeben und wird sie auch in Zukunft immer wieder geben, die mit erlaubten und unerlaubten Mitteln versuchen, für sich einen Vorteil zu erringen, der ihnen ehrlicherweise nicht zustehen würde. Eine Gesellschaft kann ihr Überleben aber nur dann sicherstellen, wenn sie klare Regelungen aufstellt, welche Betrügereien erschweren und die ehrlichen Menschen vor ihnen schützen.

Seit jeher waren die Regierenden deshalb bestrebt, eindeutige Masse festzulegen und die Händler zu ihrem Gebrauch zu verpflichten. Das Leben in unserer modernen Gesellschaft und globalisierten Welt kennt heute aber noch weitere Gründe, warum das Messen und der Umgang mit Messinstrumenten und Messwerten in klar festgelegten Bereichen vom Staat geregelt und überwacht werden muss. Eine schöne Gesamtchau zu diesem interessanten Thema finden Sie im Artikel *Gesetzliche Metrologie in der Schweiz: Nutzen und Ziele, traditioneller Ansatz*.

Die Metrologie wird – wie jedes andere Tätigkeitsgebiet auch – massgeblich von den Menschen geprägt, die darin arbeiten. Der amtierende Direktor des Bundesamts für Metrologie, *Wolfgang Schwitz*, war während den 26 Jahren seiner Tätigkeit am Bundesamt, davon 11 Jahre als Direktor, mit Leib und Seele mit der Metrologie verbunden. Nun wird er am 29. Februar 2008 in den verdienten Ruhestand treten. Kenner seiner beruflichen Passion rätseln, ob er als Oberverantwortlicher auch von Zeit und Frequenz in diesem Lande die Zeit so manipuliert haben könnte, dass sein natürlicher Abgang auf ein Schaltjahr fällt, damit er noch einen Tag länger mit seiner beruflichen Leidenschaft verbunden sein darf?

Seine Amtszeit ist durch eine beeindruckende Entwicklung gekennzeichnet, welche von seinem Vorgänger, *Otto Piller*, begonnen und von ihm konsequent weiterverfolgt wurde: Die Entwicklung von einem sekundären Labor, das im internationalen Umfeld kaum wahrgenommen wurde, zu einem metrologischen Spitzenlabor, das auf wichtigen Gebieten mit den weltweit führenden nationalen Metrologielaboratorien Schritt halten kann. Daneben setzte sich *Wolfgang Schwitz* ebenso für den Aufbau eines leistungsfähigen Akkreditierungssystem ein. Unter seiner Amtszeit als Direktor wurde schliesslich auch der bestehende Gebäudekomplex mit einem grosszügigen, höchsten metrologischen Ansprüchen genügenden Neubau erweitert, der auch den unter seine Amtszeit fallenden Ausbau der Schulungs- und Konferenzaktivitäten ermöglicht.

### Chères lectrices, chers lecteurs

«La balance fausse est en horreur à l'Eternel, mais le poids juste lui est agréable». Ce proverbe de Salomon démontre bien que les hommes avaient il y a trois mille ans des soucis et des besoins comparables aux nôtres. Il y a toujours eu et il y aura toujours encore des hommes qui cherchent par des moyens licites ou illicites à obtenir un avantage que la bonne foi leur refuserait. Une société ne peut assurer sa survie que si elle établit des règles précises qui font obstacle aux tromperies et protègent le citoyen honnête.

Depuis toujours, les dirigeants se sont efforcés de fixer des mesures univoques et d'obliger les commerçants à s'en servir. La vie dans notre société moderne et dans le monde globalisé donne à l'État encore d'autres raisons de régler et surveiller les mesures et l'utilisation des instruments et des résultats de mesure dans des domaines bien définis. L'article *Métrieologie légale : utilité et avenir* vous offre à ce sujet un aperçu intéressant.

Comme toute autre activité, la métrologie est fortement influencée par les hommes qui y travaillent. Le directeur en exercice de l'Office fédéral de métrologie, *Wolfgang Schwitz*, s'est donné corps et âme à la métrologie pendant les 26 années passées dans cet office, dont onze en qualité de directeur. Il prendra une retraite bien méritée le 29 février 2008. Ceux qui connaissent sa passion professionnelle se demandent si, en tant que grand responsable du temps et des fréquences dans ce pays, il aurait pu manipuler l'échelle temporelle de sorte que son départ naturel tombe sur une année bissextile, gagnant ainsi un jour supplémentaire à exercer une activité qui lui tient tant à coeur . . .

La période active de *Wolfgang Schwitz* se distingue par un développement impressionnant, initié par son prédécesseur *Otto Piller*, et poursuivi avec détermination : le développement d'un laboratoire secondaire, à peine connu au niveau international, en un laboratoire métrologique de pointe qui, dans les domaines importants, peut se mesurer avec les laboratoires nationaux de métrologie les plus renommés du monde. *Wolfgang Schwitz* s'est aussi consacré au développement d'un système d'accréditation efficace. Sous sa direction, le complexe existant a été complété par un important nouveau bâtiment qui répond aux plus hautes exigences métrologiques et lui a permis de développer les activités de formation et les conférences.



### Care lettrici, cari lettori

«Per il Signore Iddio due pesi e due misure sono entrambi un orrore». Questo detto, che risale presumibilmente al re Salomone, ci mostra in modo marcato come già tremila anni fa l'uomo avesse preoccupazioni e necessità simili a quelle che conosciamo tuttora. Ci sono sempre state e ci saranno sempre persone che tentano con mezzi leciti ed illeciti di ottenere vantaggi che in verità non gli spetterebbero. Una società può però assicurare la propria sopravvivenza solo se stabilisce regolamenti inequivocabili, che rendono la vita difficile ai truffatori e tutelano gli interessi delle persone oneste.

Da sempre i governanti sono perciò stati propensi a definire misure univoche e ad obbligare i commercianti ad utilizzarle. La vita nella nostra società moderna e nel nostro mondo globalizzato determina oggi però anche altri motivi per domandare allo Stato di disciplinare e sorvegliare le misurazioni e l'uso di strumenti di misurazione e di valori misurati in ambiti ben definiti. Una bella sintesi su questo interessante tema figura nell'articolo *Metrologia legale: vantaggi e futuro*.

Alla stessa stregua di ogni altro campo di attività, la metrologia viene influenzata in modo determinante dalle persone che vi lavorano. Durante i suoi 26 anni di attività all'Ufficio federale di metrologia, di cui 11 in veste di direttore, Wolfgang Schwitz ha fatto anima e corpo con la metrologia. Il 29 febbraio 2008 andrà meritatamente in pensione. Coloro che conoscono la sua passione per la professione fanno congetture sul fatto che, in qualità di responsabile in capo anche dell'ora e della frequenza nel nostro Paese, abbia potuto manipolare il tempo in modo da far coincidere la sua partenza per raggiunti limiti di età con un anno bisestile, così da poter rimanere ancora un giorno in più a contatto con la sua passione professionale?

Il suo mandato è stato caratterizzato da un impressionante sviluppo, iniziato dal suo predecessore, Otto Piller, e portato avanti in modo coerente: lo sviluppo da un laboratorio di secondaria importanza, appena conosciuto in ambito internazionale, ad un laboratorio di metrologia di punta, che può tenere il passo in settori importanti con i laboratori nazionali di metrologia leader a livello mondiale. Wolfgang Schwitz si è inoltre impegnato per la creazione di un efficiente sistema di accreditamento. Sotto il suo mandato di direttore infine, l'esistente complesso di edifici è stato ampliato con una nuova costruzione in grande stile, conforme alle più elevate esigenze della metrologia e che ha pure consentito lo sviluppo avvenuto sotto il suo mandato delle attività di formazione e di quelle relative alle conferenze.

### Dear reader

«Two types of weight and two types of standard are equally loathed by the Lord». This saying, allegedly originating from King Solomon, illustrates quite strikingly that three thousand years ago, people suffered from the similar anxieties and hardships as we still know them today. There have always been, and will always be, people who attempt to make use of licit and illicit means to gain advantages for themselves, which they would not have been correctly entitled to. A society can only safeguard its survival if it lays down clear regulations, which prevent fraud and protect honest persons from such.

As far back as history dates, governing rulers have therefore striven to define specific measurements and to oblige tradesmen to employ them. Life in our modern society and globalised world recognises other grounds why measurement and the application of measuring instruments and measurement values has to be regulated in clearly defined scopes and monitored by the government. A fine synopsis of this interesting topic can be found in the article *Legal metrology: benefits and future*.

Metrology is – as is any other field of activity – significantly influenced by the individuals working within its field. The presiding Director of the Federal Office of Metrology, Wolfgang Schwitz, put his heart and soul into metrology during his 26 years of activity at the Federal Office, 11 years of which as Director. And now, on 29 February 2008, he shall be entering his well-earned retirement. Those who are acquainted with his professional passion are puzzling as to whether, acting also as overall responsible for time and frequency in this country, he might possibly have manipulated time, in order that his natural departure falls within a leap year, thus allowing him to remain connected to his professional passion for one day longer?

His period of office is marked by an impressive development, commenced by his predecessor, Otto Piller, and which he pursued consequently: the development and advancement of a secondary laboratory, hardly acknowledged on the international scene, into a leading metrology laboratory that can keep abreast of the world's leading national metrology laboratories in major fields. Parallel to this, Wolfgang Schwitz also engaged himself in the development of an efficient accreditation system. Under his directorship, the existing building complex was also expanded by a spacious new extension that meets the highest metrological requirements, and which also enabled the broadening of the training and conference activities, which also took place during his period of office.

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

# Réalisation de l'échelle des capacités à METAS

*Des efforts considérables ont été réalisés à METAS afin d'acquérir les connaissances requises à la compréhension du fonctionnement des ponts de comparaison d'impédances de haute précision. Il a ainsi été possible de développer les ponts nécessaires à la réalisation du farad à partir du ohm et de la valeur conventionnelle de la constante de von Klitzing,  $R_{K-90}$ . Il en résulte une diminution d'un facteur 10 à 100 de l'incertitude proposée à nos clients pour l'étalonnage des condensateurs de 1 pF à 1 µF. Ces améliorations nous permettent de proposer à nos clients un service compétitif et adapté à leurs besoins.*

FRÉDÉRIC OVERNEY

La capacité électrique est une grandeur largement utilisée dans l'industrie et notamment dans le domaine des capteurs (de position, de pression, de niveau, de vibration, de rotation, etc.), de la caractérisation de matériaux (propriété diélectrique, facteur de perte, taux d'humidité, etc.) mais également dans des systèmes plus complexes tels que l'ECT (« Electrical Capacitance Tomography »).

Afin de pouvoir offrir un service de haute qualité à nos clients dans le domaine de l'étalonnage des condensateurs, des efforts considérables ont été réalisés à METAS durant ces dix dernières années. Les connaissances acquises dans le domaine des techniques de mesure des impédances en courant alternatif nous ont permis de développer différents ponts permettant premièrement d'assurer la traçabilité du farad à partir du ohm et ensuite de comparer les étalons de capacité avec une plus grande précision. Une diminution de l'incertitude de mesure d'un facteur 10 à 100 a ainsi été obtenue pour l'étalonnage des condensateurs de 1 pF à 1 µF à une fréquence de 1 kHz. D'autre part, l'acquisition d'un pont multi-fréquence commercial nous a également permis d'étendre les possibilités de mesure à des fréquences allant de 50 Hz à 20 kHz.

Après un bref rappel des différentes possibilités de réalisation du farad, cet article expose la stratégie retenue à METAS pour la réalisation de l'échelle des capacités et décrit les nouvelles possibilités de mesure.

## Réalisation du farad

Jusqu'à la fin des années cinquante, la réalisation du ohm et du farad reposait sur l'impédance calculable d'une inductance étalon, exprimée en henry, dont la valeur était calculée à partir de ses dimensions géométriques. L'incertitude relative obtenue était alors de l'ordre de 10 µF/F.

Une diminution remarquable de l'incertitude a été obtenue suite à l'énoncé d'un nouveau théorème d'électrostatique par Thompson et Lampard en 1956 [1]. Ce théorème a rendu possible la réalisation directe de l'unité farad à l'aide d'un condensateur calculable dont la variation de capacité électrique est directement obtenue à partir de la mesure d'une variation de longueur (encadré 2). Par la suite, le farad a été



- 1 Pont de quadrature permettant la réalisation du farad à partir du ohm. Ce pont est utilisé pour comparer une paire de condensateurs de 10 nF à une paire de résistances de  $R_K/2$  à une fréquence d'environ 1233 Hz. L'équilibre du pont est obtenu après trois cycles d'ajustement de 84 commutateurs à dix chiffres chacun.

utilisé comme point de départ d'une longue chaîne de mesure, appelée chaîne C-R, permettant la réalisation de l'unité de résistance électrique (le ohm). L'incertitude ainsi obtenue est de l'ordre de plusieurs parts dans  $10^8$ .

En 1980, la découverte de l'effet Hall quantique par von Klitzing (qui a d'ailleurs obtenu le prix Nobel en 1985 pour cette découverte) offrit une nouvelle possibilité pour la représentation pratique du ohm. En effet, la résistance de Hall mesurée à basse température ( $\sim 1$  K) dans un gaz bidimensionnel d'électron plongé dans un champ magnétique très intense ( $\sim 10$  T) est quantifiée selon la relation:

$$R_H = \frac{h}{i \cdot e^2}$$

où  $h$  est la constante de Planck,  $e$  la charge de l'électron et  $i$  un nombre entier. La reproductibilité du ohm basé sur l'effet Hall quantique étant deux ordres de grandeur meilleure que la réalisation absolue du ohm dans le SI (condensateur calculable puis chaîne C-R), il a été décidé lors de la 18<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures (CGPM), d'attribuer une

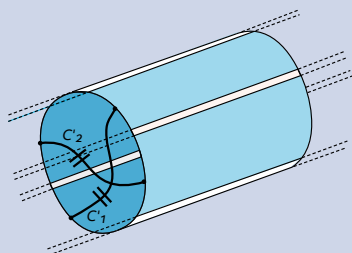
### Le condensateur calculable Thompson-Lampard

En 1965, deux physiciens australiens, D. G. Lampard et A. M. Thompson, énoncent un nouveau théorème d'électrostatique [1] qui allait permettre la réalisation d'un nouveau type d'impédance calculable et une diminution importante de l'incertitude sur la réalisation du farad.

Le théorème spécifie que pour un cylindre conducteur de longueur infinie, divisé en quatre segments parallèles placés dans le vide, les capacités par unité de longueur,  $C'_1$  et  $C'_2$ , entre deux segments opposés sont donnée par

$$\exp\left(\frac{-\pi \cdot C'_1}{\epsilon_0}\right) + \exp\left(\frac{-\pi \cdot C'_2}{\epsilon_0}\right) = 1$$

où  $\epsilon_0$  est la permittivité du vide. La démonstration de ce théorème, qui repose sur l'indépendance de la capacité géométrique aux transformations conformes, sort quelque peu du cadre général de cet article mais peut être consultée en référence [9].



Dans le cas d'une réalisation pratique, les électrodes sont choisies de forme cylindrique et aussi symétrique que possible de telle manière que  $C'_1$  et  $C'_2$  soient le plus proche possible. Dans ces conditions ( $C'_1 = C'_2 = C'$ ), l'équation ci-dessus se simplifie et en utilisant la relation  $\epsilon_0 = 1/(\mu_0 \cdot c^2)$ , nous obtenons

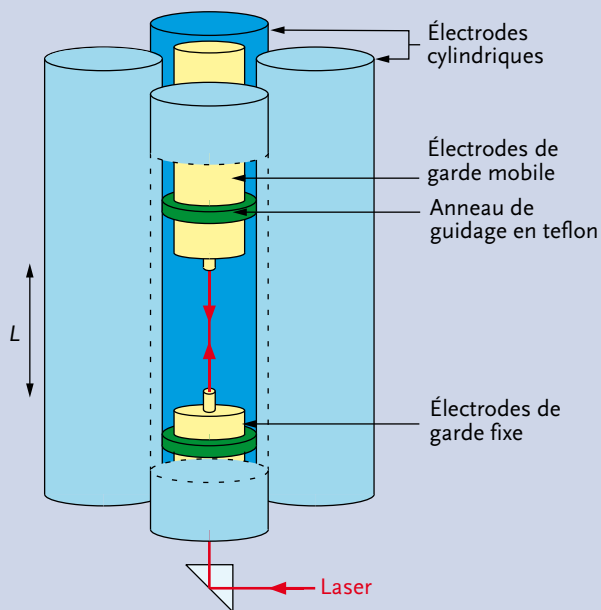
$$C' = \frac{\ln(2)}{\mu_0 \cdot c^2 \cdot \pi} \approx 1,95 \text{ pF/m}$$

où  $c$  est la vitesse de la lumière et  $\mu_0$  la perméabilité du vide.

Afin de s'affranchir des effets de bords, deux électrodes de gardes, dont une mobile, sont placées dans le volume intérieur formé par les quatre cylindres. Dans une telle configuration, une simple mesure de variation de la distance  $L$  entre deux positions de l'électrode mobile permet le calcul de la variation  $\Delta C$  de la capacité. De cette manière le farad est réalisé dans le cadre du système SI puisque directement relié au mètre par une mesure de déplacement.

Les valeurs  $\Delta C$  généralement utilisées sont de l'ordre de quelques dixièmes de pF. Différents ponts de mesure sont ensuite nécessaires afin de transférer la valeur de  $\Delta C$  vers d'autres condensateurs étalons de valeur nominale de 1 pF, 10 pF etc.

Le développement et le maintien d'un condensateur calculable est une tâche compliquée et coûteuse que seuls quelques laboratoires nationaux peuvent se permettre, parmi lesquelles citons notamment l'Australie (pionnière dans le développement des condensateurs calculables), les États-Unis, la France, le Canada et le BIPM.



### 2 Le condensateur calculable Thompson-Lampard.

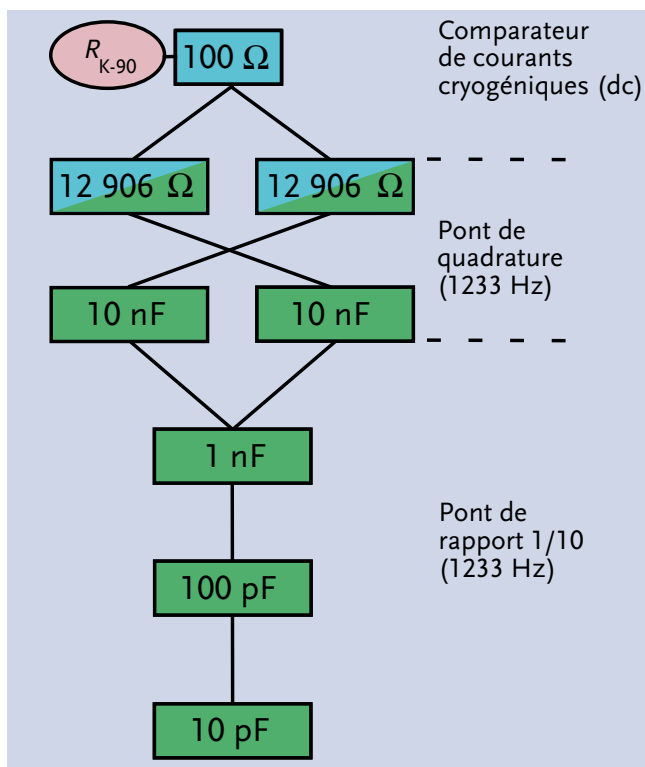
valeur conventionnelle à la constante de von Klitzing  $R_K = h/e^2$  et d'utiliser cette valeur conventionnelle ( $R_{K-90} = 25\,812,807 \, \Omega$ ) pour toutes représentations du ohm à partir de l'effet Hall quantique [2].

Ainsi, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1990, date d'entrée en vigueur de la valeur conventionnelle  $R_{K-90}$ , de nombreux laboratoires ont choisi de baser la réalisation du farad sur l'effet Hall quantique via la chaîne C-R utilisée dans le sens R-C. En effet, le développement et le maintien d'un condensateur calculable représentent des tâches compliquées et coûteuses que seuls quelques laboratoires nationaux peuvent se permettre. Parmi ceux-là citons notamment l'Australie (pionnière dans le dé-

veloppement des condensateurs calculables), les États-Unis et la France. Relevons également qu'une nouvelle génération de condensateur calculable est actuellement en cours de développement en Australie, au Canada et au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) avec, pour objectif, une incertitude relative de l'ordre de 1 part sur  $10^8$  sur la réalisation SI de  $R_K$ .

### Stratégie utilisée à METAS

La stratégie choisie à METAS pour la réalisation du farad est basée sur l'effet Hall quantique. La figure 3 montre schématiquement les différentes étapes nécessaires à l'étalonnage d'un condensateur de 10 pF à partir de l'effet Hall quantique



3 Chaîne R-C permettant l'étalonnage d'un condensateur de 10 pF à partir de l'effet Hall quantique et de la valeur conventionnelle  $R_{K-90}$ .

et de la valeur conventionnelle  $R_{K-90}$ . Le noyau central de cette chaîne R-C est formé par le pont de quadrature qui permet la comparaison de deux étalons de résistance à deux étalons de capacité, reliant ainsi l'unité du farad à celle du ohm ou inversement.

Le pont développé à METAS est un pont de comparaison à quatre paires de bornes similaire à ceux utilisés dans les années soixante pour la réalisation de la chaîne C-R [3, 4]. Ce pont permet la comparaison de deux résistances d'une valeur nominale de  $R_K/2$  à deux condensateurs d'une valeur nominale de 10 nF. Les valeurs des résistances  $R_1$  et  $R_2$  et des condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  sont reliées par la relation

$$R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \omega^2 = 1$$

où  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu$  est la fréquence angulaire du signal sinusoïdal appliqué aux étalons et correspond à une fréquence d'environ 1233 Hz.

Les deux résistances utilisées dans le pont de quadrature sont des résistances dites calculables. Une résistance calculable est conçue de telle manière que la variation de la résistance avec la fréquence peut être calculée à partir des dimensions géométriques et des propriétés électromagnétiques des matériaux utilisés (encadré 5). De cette manière, la valeur de la résistance à la fréquence de 1233 Hz est obtenue par étalonnage de la valeur DC par rapport à  $R_{K-90}$  via un étalon secondaire de 100  $\Omega$ , puis par application d'un facteur correctif calculé.

Afin de diminuer le nombre de mesures entre  $R_{K-90}$  et la valeur des résistances à 1233 Hz, plusieurs laboratoires ont envi-

sagé d'utiliser directement deux échantillons de Hall quantique dans le pont de quadrature. Toutefois, il a rapidement été observé que la résistance de Hall quantique mesurée en courant alternatif augmente linéairement avec fréquence. Des déviations relatives, par rapport à  $R_{K-90}$ , pouvant atteindre quelques  $10^{-7}$  ont été observées. Cet effet a été intensivement étudié dans le cadre d'une collaboration entre le NRC (National Research Council, Canada), la PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Allemagne) et METAS et il est maintenant admis que l'origine de cette dépendance en fréquence réside dans des courants capacitifs et dissipatifs circulant dans la résistance de Hall quantique [5]. De plus, différentes stratégies ont été établies afin de pouvoir utiliser directement l'effet Hall quantique à des fréquences de quelques kHz [6, 7]. Un pont de quadrature utilisant deux échantillons de Hall quantique est d'ailleurs en cours de développement à la PTB. Cette approche pourrait également être envisagée à METAS dans un proche avenir.

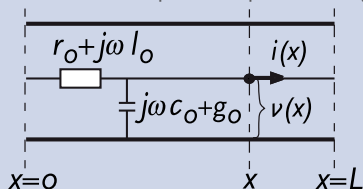
La troisième et dernière étape de la réalisation de la chaîne C-R est l'étalonnage des condensateurs de 1 pF à 100 nF par comparaisons successives de rapport 10:1 ou 1:10 à partir des condensateurs de 10 nF (photo 4). Le pont utilisé est un pont



4 Pont coaxial automatisé de rapport 10:1. Ce pont permet l'étalonnage des condensateurs de précision de 1 pF à 100 nF à la fréquence de 1233 Hz et de 1 kHz.

## La résistance calculable

Il est important de remarquer que contrairement au condensateur calculable, la grandeur calculée pour la résistance calculable n'est pas sa résistance absolue mais uniquement la dépendance en fréquence de la résistance. Ainsi, un étalonnage préalable de la valeur DC de la résistance est nécessaire pour pouvoir ensuite calculer sa valeur à la fréquence utilisée dans le pont de quadrature (environ 1233 Hz).



Le calcul de la dépendance en fréquence de la résistance repose sur la résolution du problème de la ligne de transmission (équations du télégraphe). Comme illustré sur la figure ci-dessus, considérons un fil résistif placé au centre d'un tube conducteur de longueur  $L$ . Dans ce cas, le taux de variation de la tension et du courant le long du fil est donné par

$$\begin{cases} -\frac{\partial i}{\partial x} = (g_0 + j \cdot \omega \cdot c_0) \cdot v \\ -\frac{\partial v}{\partial x} = (r_0 + j \cdot \omega \cdot l_0) \cdot i \end{cases}$$

où  $r_0$ ,  $l_0$ ,  $c_0$  et  $g_0$  sont respectivement la résistance, l'inductance, la capacité et la conductance par unité de longueur. La résolution de ce système d'équation conduit à une expression du type

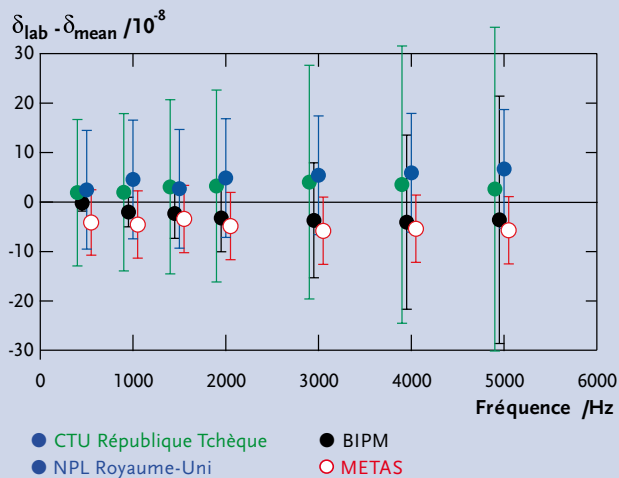
$$R(\omega) = R_{DC} \cdot [1 + \delta(\omega, r_0, l_0, c_0, g_0, L)]$$

où le terme correctif  $\delta$  est calculé à partir des dimensions géométriques de la résistance et des propriétés électromagnétiques des matériaux. Ce terme correctif croît généralement comme le carré de la fréquence et vaut typiquement moins de  $2 \cdot 10^{-8}$  à 1 kHz.

Une paire de résistances de ce type a été fabriquée à METAS dans le cadre d'un travail de diplôme de la haute école

d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud [10]. Ces résistances ont une longueur d'environ 30 cm pour une résistance nominale de  $R_k/20$ . Une augmentation d'un facteur dix de la longueur, nécessaire à l'obtention de la valeur de résistance utilisée dans le pont de quadrature ( $R_k/2$ ), n'est pas envisageable pour des raisons évidentes de stabilité mécanique. Toutefois, une conception légèrement différente dans lequel le fil est replié plusieurs fois sur lui-même est possible. Ce type de résistance, appelé résistance de Gibbings [11], est commercialement disponible. METAS en possède deux qui sont directement utilisées dans le pont de quadrature. Le terme correctif pour ces résistances est également calculable selon le principe énoncé ci-dessus.

La précision du terme correctif calculé a été testée dans le cadre d'une comparaison internationale [12]. Différents laboratoires nationaux ont mesuré la dépendance en fréquence d'une résistance de transfert entre 500 Hz et 5 kHz. Le graphique ci-dessous montre l'écart entre le terme correctif mesuré dans chaque laboratoire et le terme correctif moyen. Malgré les différents types de résistance calculable utilisés comme référence par les participants, les résultats concordent dans la limite des incertitudes, légitimant ainsi le calcul du terme correctif des résistances calculables.



### 5 La résistance calculable.

à quatre paires de bornes automatisé inspiré du système développé dans le cadre du projet européen « Modular System for the Calibration of Capacitance Standards Based on Quantum Hall Effect » [8]. Le choix de réaliser un pont automatisé a été motivé par le fait qu'il est non seulement utilisé à plusieurs occasions dans la chaîne R-C mais également pour l'étalonnage de grande précision des condensateurs de nos clients. Cette automatisation nous permet en effet de diminuer considérablement les coûts générés par l'utilisation manuelle d'un pont de haute précision et donc d'offrir un service de qualité à des tarifs tout à fait compétitifs.

### Le pont multifréquence Andeen-Hagerling

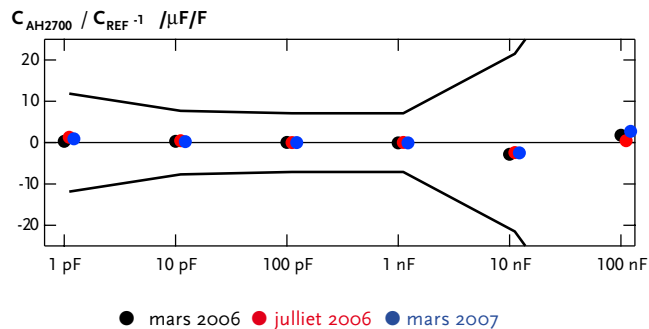
L'utilisation du pont coaxial 10:1 comme mentionné ci-dessus permet la comparaison de condensateurs avec la plus haute précision. Le corollaire est que ce pont ne possède pas une

dynamique très étendue. En effet, le rapport des condensateurs comparés doit être dans une proportion 10:1 dans une fourchette de 100  $\mu\text{F}/\text{F}$  ! De plus, la stabilité des étalons doit être suffisante pour permettre l'équilibre du pont. Afin de compléter l'offre des prestations dans ce domaine, METAS a fait l'acquisition d'un pont commercial multifréquence de type AH2700A (photo 6).



6 Le pont commercial AH2700A permet la mesure directe des condensateurs de 1 pF à 1 mF à des fréquences allant de 50 Hz à 20 kHz.

L'incertitude fournie par ce pont est certes moins bonne que celle obtenue avec le pont 10:1 mais il permet la mesure directe des condensateurs allant de 1 pF à 1 µF et ceci à des fréquences comprises entre 50 Hz et 20 kHz. La traçabilité des mesures réalisées avec le pont AH2700A est garantie par des mesures régulières des condensateurs de référence. La figure 7 montre l'erreur de mesure du pont pour différentes valeurs nominales des condensateurs. Cette erreur est bien inférieure aux spécifications du fabricant et de surcroît, stable dans le temps.



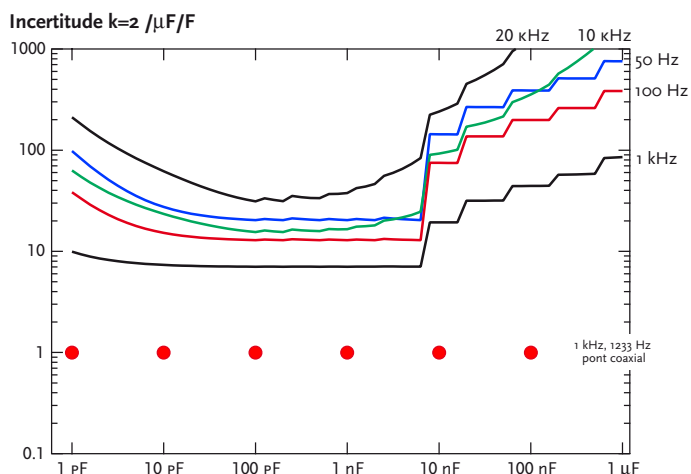
● mars 2006 ● juillet 2006 ● mars 2007  
 7 Différence entre la mesure directe avec le pont AH2700 et la valeur de référence de condensateurs pour différentes valeurs de capacité à une fréquence de 1 kHz.

### Service d'étalonnage des condensateurs

METAS offre maintenant deux types d'étalonnage des condensateurs :

- Un étalonnage de grande précision à 1 kHz pour des condensateurs de haute qualité allant de 1 pF à 100 nF. L'incertitude étendue ( $k=2$ ) pour ce service est de 1 µF/F.
- Un étalonnage de précision pour les condensateurs de 1 pF à 1 µF à des fréquences comprises entre 50 Hz et 20 kHz. L'incertitude étendue pour ce service varie de 7 µF/F à plusieurs centaines de µF/F dépendant de la fréquence et de la valeur de la capacité.

La figure 8 représente l'incertitude relative élargie typique proposée pour les deux services d'étalonnage.



8 Incertitude relative élargie ( $k=2$ ) pour l'étalonnage de condensateurs à METAS, en trait continu, pour des mesures réalisées avec le pont AH2700A. Les cercles correspondent aux mesures réalisées avec le pont coaxial.

### Références

[1] A. M. Thompson, D. G. Lampard, A new theorem in electrostatics and its applications to calculable standards of capacitance, *Nature* 177, p. 888, 1956.

[2] B. Jeanneret, The quantum Hall effect as an electrical resistance standard, *Rep. Prog. Phys.* 64, pp. 1603-1655, 2001.

[3] A. M. Thompson, AC bridge method for the measurement of three terminal admittances, *Trans. IEEE, IM-13*, pp. 189-197, 1964.

[4] R. D. Cutkosky, Techniques for comparing Four Terminal-Pair admittance standards, *Journal of research of the NBS, 74C*, n°3 et 4, 63, 1970.

[5] B. Jeanneret, F. Overney, Phenomenological Model for Frequency-Related Dissipation in the Quantized Hall Resistance, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* Vol. 56, No. 2, pp. 431-434, 2007.

[6] F. Overney, B. Jeanneret, B. Jeckelmann, B. M. Wood, J. Schurr, The quantized Hall resistance: towards a primary standard of impedance, *Metrologia*, 43, pp. 409-413, 2006.

[7] J. Schurr, F. J. Ahlers, G. Hein, K. Pierz, The ac quantum hall effect as a primary standard of impedance, *Metrologia*, 44, pp. 15-23, 2007.

[8] J. Melcher, J. Schurr, K. Pierz, J. M. Williams, S. P. Giblin, F. Cabiati, L. Callegaro, G. Marrullo-Reedtz, C. Cassiago, B. Jeckelmann, B. Jeanneret, F. Overney, J. Bohacek, J. Riha, O. Power, J. Murray, M. Nunes, M. Lobo, I. Godinho, The European ACQHE Project: Modular System for the Calibration of Capacitance Standards Based on the Quantum Hall Effect, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* Vol. 52, No. 2, pp. 563-568, 2003.

[9] D. G. Lampard, A new theorem in electrostatics with applications to calculable standards of capacitance, *Proceedings I.E.E.*, Monograph No. 216 M, January, 1957.

[10] J. Hutzli, Montage et caractérisation de deux résistances calculables de type Haddad, *Travail de diplôme, heig-vd*, 2004.

[11] D. L. H. Gibbings, A design for resistors of calculable ac/dc resistance ratio, *Proc. IEE*, 110, pp. 335-347, 1963.

[12] J. Boháček, EUROMET Project 432: Frequency performance of 12906 Ω and 6453 Ω reference resistors for ac quantum Hall effect experiments, *Metrologia*, 39, pp. 231-237, 2002.



Frédéric Overney,  
 Laboratoire de Métrologie Quantique,  
 tél. +41 31 32 33 296,  
 frederic.overney@metas.ch

### **Die Realisation der Einheit für die elektrische Kapazität am METAS**

Die elektrische Kapazität ist eine in der Industrie verbreitet angewendete Grösse, namentlich im Bereich der Sensoren (Position-, Druck-, Pegel-, Schwingungs-, Rotationssensor, usw.), der Materialcharakterisierung (dielektrische Eigenschaft, Verlustfaktor, Feuchtegrad, usw.) sowie auch in komplexen Systemen wie dem ECT («Electrical Capacitance Tomography»).

Die Einheit Farad kann auf verschiedene Weisen realisiert werden. Ein Ansatz ist die Verwendung eines berechenbaren Thompson-Lampard-Kondensators, der ausgehend vom Meter und der Sekunde eine SI-Realisierung des Farad ermöglicht. Eine zweite Möglichkeit ist die Verbindung des Farad mit dem Ohm über eine Quadraturbrücke, wobei die Widerstandseinheit in diesem Fall mit Hilfe des Quanten-Hall-Effekts dargestellt wird.

Im METAS wurde die zweite Möglichkeit umgesetzt. Die Entwicklung verschiedener Koaxialbrücken ermöglichte in der Folge die Verringerung der Messunsicherheit um einen Faktor 10 bis 100 für die Kalibrierung von Kondensatoren im Bereich 1 pF bis 1  $\mu$ F bei einer Frequenz von 1 kHz. Zusätzlich erlaubte die Anschaffung einer kommerziellen Multifrequenzbrücke die Erweiterung der Messmöglichkeiten auf die Frequenzen im Bereich von 50 Hz bis 20 kHz.

### **La realizzazione dell'unità per la capacità elettrica al METAS**

La capacità elettrica è una grandezza largamente utilizzata nell'industria e segnatamente nel campo dei sensori (di posizione, di pressione, di livello, di vibrazione, di rotazione, ecc.), della caratterizzazione di materiali (costante dielettrica, fattore di perdita, tasso di umidità, ecc.) ma anche in sistemi più complessi quali l'ECT («Electrical Capacitance Tomography»). Per definire il farad sono possibili diversi approcci. Un primo metodo consiste nell'utilizzazione di un condensatore calcolabile Thompson-Lampard, che consente una realizzazione SI del farad a partire dal metro e dal secondo. Una seconda possibilità è di collegare il farad all'ohm e al valore convenzionale  $R_{K-90}$  mediante un ponte in quadratura.

Presso il METAS è stato realizzato il secondo approccio. Lo sviluppo dei diversi ponti coassiali ci ha così consentito di diminuire l'incertezza di misura di un fattore compreso tra 10 e 100 per la taratura dei condensatori da 1 pF a 1  $\mu$ F a una frequenza di 1 kHz. D'altra parte, l'acquisizione di un ponte commerciale a più frequenze ci ha permesso di estendere le possibilità di misura a frequenze comprese tra i 50 Hz e 20 kHz.

### **Realisation of the electrical capacitance unit at METAS**

Electrical capacitance is a quantity widely applied in industry, namely in the field of sensors (position, pressure, sound level, oscillation and rotation sensors, etc.), in material characterisation (dielectric property, loss factor, humidity level, etc.) as well as in complex systems such as ECT («Electrical Capacitance Tomography»). The unit farad can be realised using various methods. One of these is the application of a calculable Thompson Lampard capacitor, which permits an SI realisation based on the metre and the second. A second technique is the combination of the farad with the ohm via a quadrature bridge whereby, in this case, the resistance unit is shown with the aid of the quantum Hall effect.

At METAS, the second method is applied. The development of several coaxial bridges consequently permits the reduction of the measurement uncertainty by a factor 10 to 100 for the calibration of capacitors within the scope of 1 pF to 1  $\mu$ F at a frequency of 1 kHz. Additionally, the acquisition of a commercial multi-frequency bridge enabled the expansion of the measurement services of frequencies in the range 50 Hz to 20 kHz.

# Gesetzliche Metrologie in der Schweiz

## Teil 1: Ziele, Nutzen und traditioneller Ansatz

Das gesetzliche Messwesen ist von alters her eine wichtige öffentliche Aufgabe. Es gilt, dafür zu sorgen, dass dort, wo öffentliche Interessen oder Schutzbedürfnisse der Bevölkerung bestehen, mit der nötigen Genauigkeit und Zuverlässigkeit gemessen wird. Wie sich dieses Ziel am besten erreichen lässt, welche Methoden dafür angemessen sind, das sind Fragen, die man sich von Zeit zu Zeit wieder stellen muss im Interesse eines den Anforderungen von Wirtschaft und Gesellschaft genügenden gesetzlichen Messwesens.

BRUNO VAUCHER, JÜRGEN NIEDERHAUSER

Bei der Betrachtung der Ansätze und Strategien in der gesetzlichen Metrologie stellt sich zunächst die Frage nach der Zielsetzung und nach der angestrebten Wirkung. Indikatoren über das Erreichen der Wirkungsziele erlauben dann ihrerseits, Wege und getroffene Massnahmen anzupassen.

### Ziele und Nutzen der gesetzlichen Metrologie

Schon zur Zeit des Tauschhandels war es notwendig, Mengen von verschiedensten Handelsgütern verlässlich bestimmen und miteinander vergleichen zu können. Entsprechend ist die Wichtigkeit von überprüften Massen und Gewichten seit ältester Zeit in normativen Texten festgehalten. Klar und unmissverständlich heisst es etwa in der Bibel im dritten Buch Mose: «Ihr sollt nicht unrecht handeln mit dem Längenmass, mit dem Gewicht oder mit dem Hohlmass. Ihr sollt richtige Waagen, richtige Gewichtsteine haben.» Bis heute gehört es zur Aufgabe des gesetzlichen Messwesens, für korrekte und zuverlässige Mengenangaben im Handel und im Geschäftsverkehr zu sorgen.

### Falschmessungen vermeiden

Dabei geht es nicht nur darum, das Betrügen zu erschweren. Im Interesse aller Beteiligten gilt es auch, ungewollte oder unbemerkte Falschmessungen zu vermeiden. Der Handel mit Gütern und die Abrechnungen von Dienstleistungen haben heute einen derartigen Umfang erreicht, dass falsche oder nicht genügend genaue Messungen zu sehr hohen Verlusten führen können. Beispielsweise werden in der Schweiz jährlich über 57 000 Gigawattstunden elektrische Energie erzeugt und dem Verbraucher zugeführt. Bei einem Jahresumsatz von mehreren Milliarden Franken bedeuten hier systematische Messfehler im Bereich eines Promilles bereits Millionen von Franken.

### Was ist gesetzliche Metrologie?

Unter gesetzlicher Metrologie (auch gesetzliches Messwesen oder Legale Metrologie genannt) wird jener Bereich des Messwesens verstanden, der aufgrund eines besonderen öffentlichen Interesses durch staatliche Vorschriften geregelt ist und unter der Aufsicht der Behörden steht.

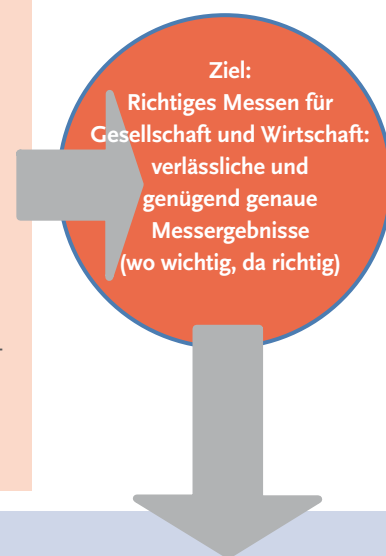
1 Gesetzliche Metrologie.

### Wege

- Traditioneller Ansatz
- Anwendungsorientierter Ansatz

### dazu

- Festlegen des Schutzniveaus
- Angemessene und international harmonisierte Regelungen
- Nationale Koordination
- Metrologische Infrastruktur für effiziente Aufsicht und wirkungsorientierten Vollzug
- Internationale Zusammenarbeit und gegenseitige Anerkennung



### Nutzen

*Schutz vor falschen Mengenangaben im Handel, vor unlauterem Wettbewerb, vor unrichtigen Feststellungen amtlicher Sachverhalte.*

*Handelserleichterungen durch Vermeiden von Disputen, von Nachmessungen und von technischen Handelshemmnissen.*

*Vermeiden von Gefährdungen durch Falschmessungen in den Bereichen medizinische Diagnostik und Therapie sowie auf dem Gebiet der öffentlichen Sicherheit.*

*Festlegung und Überwachung von Grenzwerten im Umweltschutz auf der Grundlage zuverlässiger Messergebnisse.*

*Beweisichere Messdaten für die Rechtsprechung.*

### 2 Wege, Ziele und Nutzen der gesetzlichen Metrologie.

Mit der Entwicklung der modernen Gesellschaft sind Schutzbestimmungen und staatliche Aufsicht aber auch in anderen Bereichen wie Gesundheit, Sicherheit und Umweltschutz unumgänglich geworden. Gerade im Gesundheitsbereich ist sicheres und zuverlässiges Messen wichtige Voraussetzung für die richtige Diagnostik und Therapie. Die Sicherheit im Strassenverkehr, am Arbeitsplatz und in vielen andern Bereichen bedingen eindeutige Vorschriften und deren Überprüfung mittels zuverlässiger Messungen. Umweltschutzmassnahmen setzen genaue Bestimmungen von Schadstoffen in Erde, Luft und Wasser voraus.

### Wo wichtig, da richtig!

Generell ist es das Ziel des gesetzlichen Messwesens, dass die durch ein öffentliches Interesse einer gesetzlichen Regelung unterstellten Messungen – das sind Messungen im Handel und im Geschäftsverkehr sowie Messungen in den Bereichen Gesundheit, Umwelt, öffentliche Sicherheit und amtliche Feststellung von Sachverhalten – genügend genau und nach anerkannten Kriterien durchgeführt werden. Weiter gilt es, im Interesse eines möglichst freien Handels von Messmitteln, dafür zu sorgen, dass für Messmittel keine technischen Handelshemmnisse bestehen und Mehrfachprüfungen vermieden werden können.

### Nutzen

Sich für die Verwirklichung dieser Ziele einzusetzen, trägt zum Nutzen bei, der durch die gesetzliche Metrologie geschaffen wird. Die Wirkungen der gesetzlichen Metrologie lassen sich folgendermassen umschreiben (vgl. [1]):

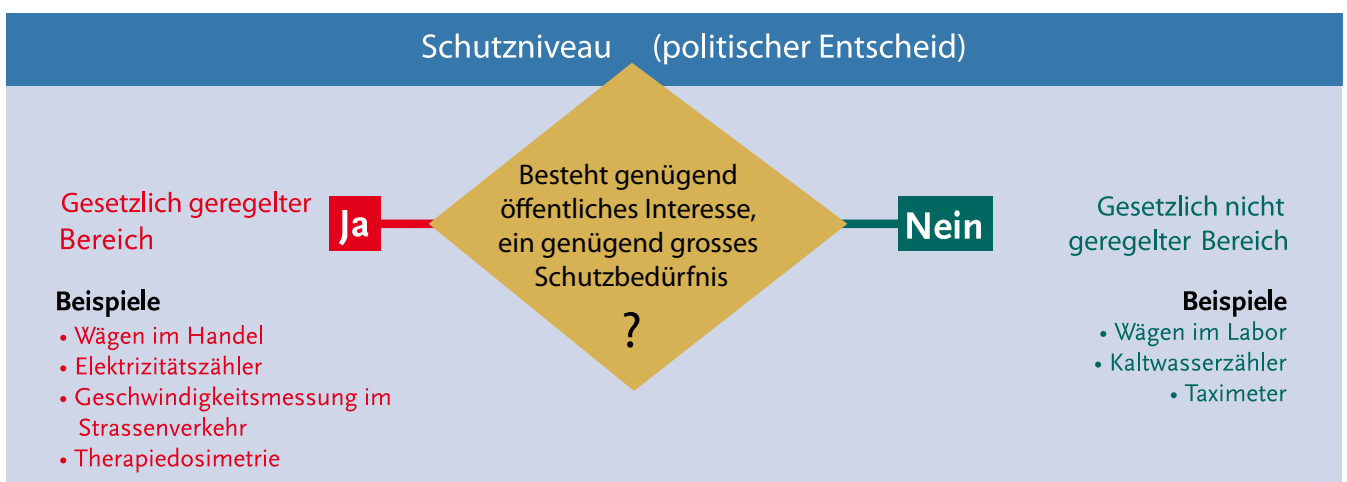
- Bürgerinnen und Bürger und die Wirtschaft erhalten die Gewissheit, dass die für die Redlichkeit im Handel, zum Schutz von Mensch und Umwelt sowie für die öffentliche Sicherheit notwendigen Messungen durchgeführt werden, zuverlässig und richtig sind. Die gesetzliche Metrologie schafft Vertrauen in die Richtigkeit der Messergebnisse im geregelten Bereich.
- Die gesetzliche Metrologie fördert den Binnen- und den Aussenhandel, indem sie dazu beiträgt, Dispute und Wiederholungen von Messungen zu vermeiden und Handelspartner schützt, die nicht in der Lage sind, selber Messungen durchzuführen.
- Die gesetzliche Metrologie ermöglicht es den in medizinischen Berufen Tätigen, sich auf ihre Messinstrumente und die Ergebnisse von Laboranalysen zu verlassen. Sie trägt zur Verlässlichkeit von Analyseergebnissen und von Messungen bei medizinischen Behandlungen bei, beispielsweise bei der Bestimmung der korrekten Dosis einer Strahlentherapie.

- Die Umsetzung von Sicherheitsrichtlinien setzt verlässliche Messungen voraus. Die gesetzliche Metrologie trägt zur Zuverlässigkeit von Messungen auf diesen Gebieten bei.
- Die Festlegung und die Überwachung von Grenzwerten für Massnahmen zum Schutz der Umwelt setzen zuverlässige, anerkannte Messungen voraus. Die gesetzliche Metrologie sorgt für die Zuverlässigkeit dieser Messungen.
- Die gesetzliche Metrologie sichert die Gerechtigkeit von Urteilen, die auf Messungen basieren. Sie sorgt für beweissichere, zuverlässige und glaubwürdige Messungen bei der amtlichen Feststellung von Sachverhalten und im Dienste des Rechtswesens.

### Schutzniveau bestimmen

Nicht in jedem Fall ist es notwendig, dass der Staat eingreift, Vorschriften erlässt und deren Einhaltung durchsetzt. Ob Messungen staatlichen Vorschriften unterworfen wurden, hängt in erster Linie von der Anwendung ab. So dürfen beispielsweise im öffentlichen Verkauf zum Schutz der Konsumenten nur geeignete und geprüfte Waagen eingesetzt werden, für eine Waage zum privaten Gebrauch bestehen aber selbstverständlich keinerlei gesetzliche Anforderungen (siehe Illustration 3).

Letztlich ist es eine politische Entscheidung, ob und wieweit die Bevölkerung vor Falschmessungen bewahrt werden soll. In bestimmten Fällen ist richtiges Messen für die Gesellschaft und die Wirtschaft derart wichtig, dass vom Staat Mindestgenauigkeiten festgelegt und deren Einhaltung durchgesetzt werden müssen. Dabei ist darauf zu achten, dass nur soviel wie nötig geregelt wird. Sind, wie zum Beispiel im Einzelhandel, Kontrollen durch die direkt Betroffenen selber möglich, so sollen diese den Handelspartnern überlassen werden.



3 Kriterien zur Festlegung des Schutzniveaus.

Bei der auf Ende Oktober 2006 vorgenommenen vollständigen Überarbeitung der Regelungen des gesetzlichen Messwesens stellte sich unter anderem die Frage, ob für die Schweiz neu auch eine Regelung für das Inverkehrbringen und die nachträgliche Kontrolle von Taximetern erarbeitet werden sollte. Für diese in den meisten europäischen Ländern amtlich kontrollierte Messmittelkategorie erwies sich aufgrund der Anhörungen der betroffenen Kreise eine gesetzliche Regelung auf Bundesebene als nicht erforderlich.

#### Traditioneller klassischer Ansatz

Der klassische Weg, die Ziele der gesetzlichen Metrologie zu erreichen, war und ist es, dafür zu sorgen, dass ausschliesslich geeignete und regelmässig geprüfte Messmittel eingesetzt werden, die auch nach der Inbetriebnahme die gesetzlichen Anforderungen jederzeit erfüllen. Dazu sind Produkte- und Prüfvorschriften erforderlich sowie die regelmässige Überprüfung der Messgeräte und ihrer Verwendung. Weiter müssen Fertigungspackungen regelmässig kontrolliert werden.

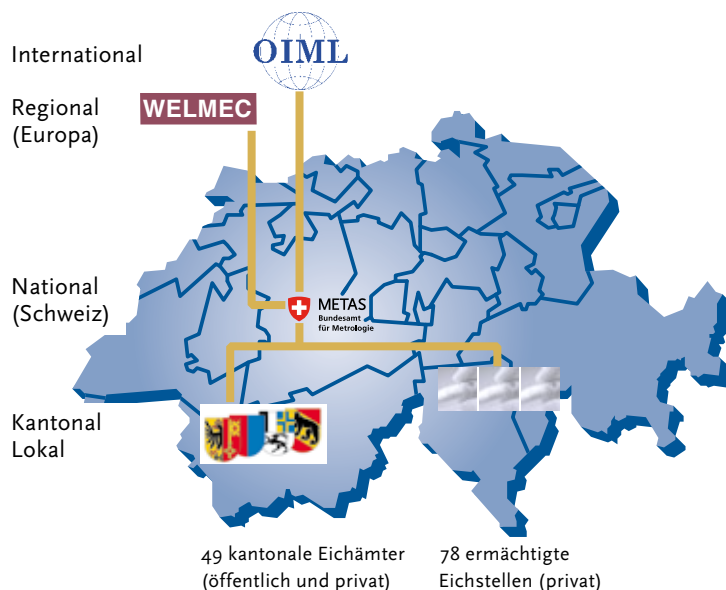
In der Vergangenheit waren Gerätevorschriften und Prüfanforderungen in der Regel gerätespezifisch, oft enthielten sie sogar Konstruktionsanforderungen. Dies führte dazu, dass die Regelungen schnell veralteten und Innovationen behinderten. Da es sich um nationale Vorschriften handelte, führten sie oft auch zu Handelshemmnissen und Mehrfachprüfungen.

#### Internationale Zusammenarbeit

Die Bestrebungen, die internationale Harmonisierung von Anforderungen des gesetzlichen Messwesens zu fördern, führten 1955 zur Gründung der «Organisation International de Métrologie légale» (OIML) durch einen Staatsvertrag. Die weltweite Harmonisierung der Anforderungen an Messmittel und ihre Überprüfung ist denn auch bis heute eine der Hauptaufgaben der OIML. In den vergangenen gut 50 Jahren wurden mehr als 130 harmonisierte normative Dokumente, sogenannte OIML-Empfehlungen, erarbeitet und laufend erneuert. Seit 1991 besteht ein Zertifizierungssystem, um die gegenseitige Anerkennung von Bauartprüfungen von Messinstrumenten als Grundlage für die nationale Zulassung durch die Mitgliedstaaten zu fördern. Zertifikate, die von Mitgliedstaaten im Rahmen dieses Systems herausgegeben werden, bestätigen, dass die Prüfungen nach den international harmonisierten Verfahren durchgeführt worden sind und die geprüften Gerätetypen die Anforderungen der internationalen OIML-Empfehlungen erfüllen.

Dieses Zertifizierungssystem ist 2003 durch eine Rahmenvereinbarung zur gegenseitigen Anerkennung von Typenprüfungen (Mutual Acceptance Arrangement, MAA) ergänzt worden. Mitgliedstaaten, die für einzelne Messmittelkategorien so genannte Declarations of Mutual Confidence (DoMC) unterschreiben, erklären damit ihre Bereitschaft, OIML-Prüfberichte im Rahmen dieses Abkommens anzuerkennen und für ihre nationale Zulassung zu verwenden.

Auf regionaler europäischer Ebene gibt es seit 1990 die WELMEC, die «Western European Legal Metrology Coopera-



#### 4 Metrologische Infrastruktur der Schweiz und internationale Anbindungen

tion». Mitglied der WELMEC können die für die gesetzliche Metrologie zuständigen nationalen Institute werden. Im Gegensatz zur OIML basiert die WELMEC nicht auf einem Staatsvertrag, sondern auf freiwilliger Mitarbeit. Sie unterhält Verbindungen zu wichtigen überstaatlichen Organisationen so auch zur OIML. Ihre, je nach Erfordernis gebildeten Arbeitsgruppen haben eine Reihe praktischer Leitfäden und Publikationen erarbeitet. Mittlerweile sind auch Mitglieder aus osteuropäischen Staaten dabei. Deshalb wurde der Name in «European Cooperation in Legal Metrology» geändert, die gut eingeführte Abkürzung WELMEC jedoch beibehalten.

#### Neues und Globales Konzept

In den Sechzigerjahren des letzten Jahrhunderts erlebten Produktion und Warenverkehr in den westeuropäischen Ländern einen enormen Aufschwung. Dies brachte es mit sich, dass in allen Lebensbereichen immer mehr gemessen wurde. Unterschiedliche nationale Vorschriften machten sich so stärker bemerkbar. Vor diesem Hintergrund gingen die EG- und die EFTA-Staaten daran, die Gesetzgebung zu harmonisieren. Die Einführung des Neuen und Globalen Konzeptes der EG brachte gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts den entscheidenden Durchbruch auf dem Gebiet der gesetzlichen Metrologie. In diesem Ansatz werden in der Regel nur grundlegende, geräteunabhängige Leistungsanforderungen (Neues Konzept) und einheitliche Prüfanforderungen (Globales Konzept) festgelegt.

Gleichzeitig wird für das Inverkehrbringen der Geräte eine Alternative zur bisherigen, ausschliesslich durch die Eichbehörden vorgenommenen Prüfung geschaffen. Neu ist der Hersteller für die Konformität seines Produktes mit den gesetzlichen Anforderungen verantwortlich. Entsprechend der Komplexität des Messmittels und der damit verbundenen Risiken stehen verschiedene Konformitätsbewertungsverfahren

ren (Module) zur Wahl. Für die Konformitätsbewertung muss eine von der staatlichen Aufsichtsbehörde bezeichnete unabhängige Konformitätsbewertungsstelle hinzugezogen werden. Dieses Verfahren nutzt die bei den Herstellern vorhandene Kompetenz und Prüfkapazitäten und die innerhalb eines umfassenden Qualitätssicherungssystems anfallenden Resultate.

Um zu verhindern, dass weder absichtlich noch unabsichtlich nichtkonforme oder ungeprüfte Messmittel in Verkehr gebracht und in Betrieb genommen werden, ist eine Aufsicht des Marktes in Form von Stichprobenprüfungen oder aufgrund begründeter Hinweise durch die staatlichen Aufsichtsbehörden unabdingbar.

#### Prüfung der Messbeständigkeit

Da sich Messgeräte naturgemäss mit der Zeit verändern, müssen sie auch später im Betrieb regelmässig geprüft, allenfalls revidiert, justiert und neu geeicht werden. Nur so bleiben ihre Funktionstüchtigkeit und die Messbeständigkeit der Instrumente sichergestellt. Dazu müssen gültig kalibrierte Referenznormale und Prüfmittel verwendet werden, denn die Rückverfolgbarkeit der Messungen ist Voraussetzung für richtige Messergebnisse.

Da dies ausschliesslich dem Schutz vor Falschmessungen dient, sind diese nachträglichen Kontrollen bis heute national geregelt.

#### Nachschau

Die Aufsicht der Vollzugsorgane über die Verwendung, das heisst, die Überprüfung, ob im gesetzlich geregelten Bereich nur gültig geeichte Messmittel eingesetzt und richtig verwendet werden, ist ein wesentliches Element zur Vermeidung von Falschmessungen. Bei dieser so genannten Nachschau (*inspection générale*) sorgen die Aufsichtsbehörden allgemein dafür, dass die gesetzlichen Vorschriften eingehalten werden.

#### Vorverpackte Waren

Zentrales Element der Marktaufsicht sind von jeher die Kontrollen vorverpackter Waren, stellen sie doch einen beträchtlichen Teil des Handelsvolumens dar.

Bei industriellen Fertigpackungen gleichen Gewichts oder Volumens wird in der Regel nicht die Abfüllanlage oder die Dosiereinrichtung geeicht, sondern es werden stichprobenweise die Mengenangabe des Herstellers überprüft. Bei vorverpackten Waren mit variabler Nennfüllmenge wird das Messmittel (Waagen für die Herstellung von Zufallspackungen, so genannten Preisauszeichnungswaagen) geeicht, die Beschriftung der Ware kontrolliert und auch überprüft, dass das Verpackungsmaterial nicht mitgewogen und zum Grundpreis der Ware mitgerechnet wird («Brutto für Netto»).

#### Gesetzliche Metrologie in der Schweiz heute

Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich auf die Bereiche, in denen METAS zuständige Aufsichtsbehörde ist.



- 5 Die zuständigen Stellen prüfen während der ganzen Verwendungsdauer eines Messmittels periodisch dessen Messsicherheit. Im Bild: METAS-Eichlastenzug im Einsatz beim Eichen einer Brückenwaage.

Die im Rahmen der Erneuerung der gesetzlichen Metrologie vollständig überarbeiteten Verordnungen der gesetzlichen Metrologie sind am 30. Oktober 2006 in Kraft getreten. Sie tragen der technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung Rechnung und setzen das Bilaterale Abkommen mit der Europäischen Gemeinschaft zur gegenseitigen Anerkennung von Konformitätsbewertungen im Bereich Messmittel und Fertigpackungen um, wobei das in der Schweiz bestehende Schutzniveau erhalten bleibt.

Mit der Übernahme des Neuen und Globalen Konzeptes der EG wurden grundlegende und moderne anwendungsspezifische Anforderungen an die Messmittel sowie harmonisierte Konformitätsbewertungsverfahren eingeführt. Werden staatlich anerkannte normative Dokumente wie die europäischen Normen oder OIML-Empfehlungen erfüllt, gelten die gesetzlichen Anforderungen als erfüllt (Konformitätsvermutung).

Für Messmittel, deren Verwendung gesetzlich geregelt ist, für die aber weder in der EU noch in der Schweiz der Neue und Globale Ansatz gilt, ist nach wie vor eine Bauartprüfung mit Zulassung und Ersteichung erforderlich, damit sie in Verkehr gebracht und verwendet werden dürfen.

Mit der Erneuerung der gesetzlichen Metrologie wurde auch für die Kontrollen zur Gewährleistung der Messbeständigkeit während der ganzen Verwendungsdauer eines Messmittels ein modularer Ansatz eingeführt. Zusätzlich zur klassischen Nacheichung und den statistischen Prüfverfahren sind neu auch Vergleichsmessungen, Kalibrierungen mit Protokoll-

pfligt, Kontrollverfahren der Verwender, die Überwachung der Messdaten im Betrieb sowie Kombinationen der einzelnen Module möglich. Die für die einzelnen Gerätekategorien anwendbaren Verfahren werden in den gerätespezifischen Verordnungen festgelegt (vgl. die Ausführungen in [2]).

#### Verantwortlichkeiten

Nach der neuen Messmittelverordnung ist grundsätzlich der Verwender dafür verantwortlich, dass das von ihm verwendete Messmittel den rechtlichen Anforderungen entspricht und die Verfahren zur Überprüfung der Messsicherheit durchgeführt werden. Wer Messmittel gewerbsmässig in Verkehr bringt, muss den Verwender über seine Pflichten informieren.

Die Gesetzgebung über das Messwesen ist Sache des Bundes, der Vollzug dieser Regelungen obliegt in erster Linie den Kantonen. METAS ist verantwortlich für die Aufsicht über den Vollzug (siehe Kasten 6). Für einen effizienten und korrekten Vollzug der Aufgaben im Messwesen ist deshalb die Zusammenarbeit der zuständigen kantonalen Stellen mit METAS wesentlich. Dies gilt nach der Erneuerung des gesetzlichen Messwesens in besonderem Masse. Um die Zusammenarbeit mit den kantonalen Stellen zu fördern, hat METAS seit Herbst 2006 ein jährliches Treffen von Vertretern der kantonalen Aufsichtsbehörden über das Messwesen mit den für Belange des gesetzlichen Messwesens Verantwortlichen institutionalisiert.

Auf Ende 2006 hat auch ein Koordinationsorgan der Bundesstellen und einer Delegation der kantonalen Aufsichtsbehörden, die Vollzugs- und Aufsichtsaufgaben im Bereich der Messmittel wahrnehmen, seine Arbeit aufgenommen. Seine Aufgabe ist es, als beratendes Organ den Bundesbehörden bei der Revision, Vereinheitlichung und grösstmöglichen Vereinfachung der Regelungen für Messverfahren und Messmittel zur Verwendung in den Bereichen Handel und Geschäftsverkehr, Gesundheit, Umweltschutz, öffentliche Sicherheit sowie amtliche Feststellung von Sachverhalten unterstützend zur Seite zu stehen.

#### Metrologische Infrastruktur

Die Umsetzung der neuen Regelungen im gesetzlichen Messwesen, der Vollzug dieser Regelungen und die Aufsicht über den Vollzug basieren auf der bereits vorhandenen metrologischen Infrastruktur mit dem Bundesamt für Metrologie (METAS) und dem Schweizerischen Eichdienst (SVS).

Kantonale Vollzugsorgane beaufsichtigen den Markt und sorgen in den klassischen Bereichen wie Handel oder Abgasmessung für die Kontrollen zur Gewährleistung der Messbeständigkeit der Messmittel und deren richtige Verwendung. Für Aufgaben, welche die Kantone nicht wahrnehmen, zum Beispiel im Bereich Elektrizität-, Gas- und Wärmemessung oder Strassenverkehr, hat der Bund private Eichstellen ermächtigt. METAS überwacht diesen Vollzug und eicht komplementär, wenn bei Eichämtern und Eichstellen die entsprechenden Messmöglichkeiten fehlen.

#### Das Bundesamt für Metrologie METAS

- bereitet angemessene und mit den wichtigsten Handelspartnern abgestimmte Gesetzesbestimmungen über das Messwesen vor und sorgt für den Vollzug;
- arbeitet aktiv in nationalen und internationalen Organisationen der Legalen Metrologie mit;
- betreut die Eichämter und Eichstellen und ist verantwortlich für die Ausbildung ihrer Mitarbeitenden;
- überprüft, ermächtigt, bezeichnet und überwacht die Eich- und Konformitätsbewertungsstellen;
- organisiert und überwacht die Marktaufsicht;
- erstellt Expertisen;
- ist Auskunfts- und Beratungsstelle für Fragen des gesetzlichen Messwesens;
- bewertet die Konformität eichpflichtiger Messmittel (Bauartprüfungen) und entscheidet über ihre Zulassung und allfällige Eichung;
- kontrolliert und kalibriert die Referenzmessmittel der Eichämter und Eichstellen.

#### 6 Aufgaben und Tätigkeiten des METAS im gesetzlich geregelten Bereich.

Diese Infrastruktur wird ergänzt mit Konformitätsbewertungsstellen für die Inverkehrsetzung von Messmitteln nach dem Neuen und Globalen Konzept in der Schweiz und im Rahmen internationaler Abkommen in andern Ländern. Bisher ist die Zertifizierungsstelle von METAS, METAS-Cert, im Rahmen des bilateralen Abkommens über die gegenseitige Anerkennung von Konformitätsbewertungen gemäss den europäischen Richtlinie über Messgeräte und nichtselbsttätige Waagen als benannte Konformitätsbewertungsstelle anerkannt. METAS-Cert trägt die Identifikationsnummer 1259 und steht in direktem Wettbewerb mit allen anderen europäischen Anbietern. Der Tätigkeitsbereich von METAS-Cert ist in [3] dargestellt.

Zusätzlich ist die bisherige Aufsicht des Marktes über Fertigpackungen auf neu in Verkehr gebrachte Messmittel erweitert worden. Eine ausführliche Darstellung der Marktüberwachung von Messmitteln enthält [4]. Für Zwecke der Marktüberwachung wurde auch ein Informationssystem aufgebaut, das wesentlich zu einer massvollen und effizienten Marktkontrolle beitragen wird.

#### Ausblick auf Teil 2

Mit dem bisher beschriebenen traditionellen Ansatz kann der Schutz der Konsumenten und Konsumentinnen sowie des redlichen Handels bei einfachen Messinstrumenten weitgehend gewährleistet werden. Bei Messsystemen und komplexen Messaufgaben ist jedoch ein anwendungsorientierter Ansatz erforderlich, um korrektes Messen gewährleisten zu können. Der zweite Teil des Artikels befasst sich mit diesem anwendungsorientierten Ansatz der gesetzlichen Metrologie und diskutiert weiter auch Möglichkeiten zur Verbesserung im Vollzug.

## Referenzen

- [1] OIML B 15, International Organization of Legal Metrology. Strategic Plan. Paris 2006.
- [2] Vaucher, Bruno, Neue Regelungen für das gesetzliche Messwesen. In: METInfo, Vol. 13, No 1, 2006.
- [3] Ramseyer, Jürg, Die Zertifizierungsstelle METAS-Cert. In: METInfo, Vol. 13, No 3, 2006.
- [4] Ebener, Hans-Anton: Marktüberwachung von Messmitteln. In: METInfo Vol. 14, No 1, 2007.

Dr. Bruno Vaucher, Stv. Direktor METAS bis Ende 2006, seit Anfang 2007 pensioniert (links) im Gespräch mit Dr. Jürg Niederhauser, Direktionsadjunkt des METAS.



### **Métrologie légale en Suisse, 1<sup>ère</sup> partie**

*La métrologie légale est depuis longtemps une tâche officielle importante. Lorsque l'intérêt public ou le besoin de protection de la population sont en jeu, il s'agit de veiller à ce que l'on mesure avec l'exactitude et la fiabilité nécessaires.*

*Le meilleur moyen d'y parvenir, les méthodes les mieux adaptées, telles sont les questions qu'il faut se poser de temps en temps, dans l'intérêt d'une métrologie légale qui réponde aux exigences de l'économie et de la société.*

*La première partie de l'article expose en détail les buts et les effets de la métrologie légale ainsi que son parcours traditionnel (utilisation exclusive d'instruments de mesure appropriés et contrôlés, contrôles des préemballages). Suit la présentation du concept tel qu'il est mis en œuvre aujourd'hui en Suisse. La deuxième partie sera consacrée au passage à l'application et à des réflexions sur l'exécution.*

### **Metrologia legale in Svizzera, parte 1<sup>a</sup>**

*Da sempre la metrologia legale è stata un'importante mansione pubblica. Si tratta di misurare con la necessaria precisione e affidabilità in tutti gli ambiti, in cui vi sono interessi pubblici o esigenze di protezione della popolazione.*

*Quale sia il modo migliore e quali siano i metodi appropriati per conseguire questo obiettivo, ecco alcuni degli interrogativi, che ci si deve porre di tanto in tanto nell'interesse di una metrologia legale che soddisfi le esigenze poste dall'economia e dalla società.*

*Nella prima parte vengono rappresentati obiettivi e utilità della metrologia legale e viene pure descritto in dettaglio l'approccio tradizionale (impiego esclusivo di strumenti di misurazione adeguati e certificati, nonché controllo di merci preimballate). Viene inoltre illustrato in che modo questo approccio viene oggi messo in pratica in Svizzera. La seconda parte comprenderà il passaggio all'orientamento verso le applicazioni e delle riflessioni sull'esecuzione.*

### **Legal Metrology in Switzerland, Part 1**

*Legal metrology has, since time immemorial, been an essential public responsibility. It involves ensuring that where public interest or a necessity to protect the public exists, measurements are made to the required accuracy and reliability. By pursuing this objective, legal metrology contributes towards the correct and reliable declaration of quantities in trade and business, and also of accurate measurement results in the fields of health, environment and public safety. It also helps prevent disputes, second and cross-measurements.*

*The first part outlines the aims and benefits of legal metrology and gives a detailed illustration of the traditional approach (implementation only of suitable and inspected measuring instruments, in addition to monitoring of pre-packaged goods). It also demonstrates how this concept is put into practice in Switzerland today. The second part shall incorporate the transition to application orientation and considerations on implementation.*

## «Fortschritt hängt unmittelbar auch vom Fortschritt bei den Messmöglichkeiten ab»

Am 29. Februar 2008 tritt Dr. Wolfgang Schwitz, seit 1997 Direktor des Bundesamtes für Metrologie (METAS), in den Ruhestand. Seit seinem Eintritt 1981 ins damalige Eidgenössische Amt für Messwesen (EAM) hat die Metrologie – die Wissenschaft und Technik des Messens – eine enorme Entwicklung durchlaufen, die Wolfgang Schwitz in der Schweiz und auf internationaler Ebene massgebend mitprägte. In seinen verschiedenen Funktionen hat er sich engagiert dafür eingesetzt, dass METAS seinen Auftrag erfüllen kann, die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass in der Schweiz so gemessen und geprüft werden kann, wie es für Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft notwendig ist.

CHRISTIAN ANTENER, JÜRIG NIEDERHAUSER

**METinfo:** Herr Schwitz, Sie sind seit Beginn der Neunzehnhundertachtzigerjahre am Bundesamt für Metrologie METAS tätig und haben sich schon vorher mit Fragen der Metrologie auseinandergesetzt. Was kennzeichnet die Entwicklung der Metrologie in den letzten siebenundzwanzig Jahren?

**Wolfgang Schwitz:** Kennzeichnend für die Metrologie in dieser Zeit ist die Entwicklung weg von Menschen gemachten Artefakten als Grundlage für die Realisierung von Masseinheiten hin zu Naturkonstanten und atomaren Grössen, von denen aus das Masssystem verankert und die Einheiten festgelegt werden, angefangen bei den Einheiten der Länge und der Zeit, die basierend auf der Lichtgeschwindigkeit respektive einer bestimmten Frequenz des Cäsiumatoms definiert werden. Diese enorm wichtige Entwicklung ist nur möglich gewesen dank wissenschaftlichen Entdeckungen, von denen einige mit einem Nobelpreis ausgezeichnet worden sind.

Eine zweite wichtige Entwicklung stellt die intensiviertere grenzüberschreitende Zusammenarbeit in Forschungsprojekten dar, die oft für ein einzelnes nationales Metrologieinstitut zu aufwendig sind und bei denen es entscheidend ist, viele Köpfe zusammenzubringen. Sie wird in Europa künftig noch verstärkt angegangen mit dem geplanten Europäischen Metrologieforschungsprogramm (EMRP).

Der dritte wichtige Schritt ist eine Ende der Neunzigerjahre unterzeichnete spezielle Vereinbarung unter der Meterkonvention. Man unterhält und anerkennt heute weltweit nicht mehr nur ein gemeinsames Masssystem, das *Système international d'unités (SI)*. Vielmehr anerkennt man auch, gestützt auf entsprechende internationale Messvergleiche, die nationalen Referenzmasse, die auf diesem System beruhen und die Dienstleistungen der nationalen Metrologieinstitute, die ihrerseits auf diesen nationalen Referenzmassen basieren. Europa ist in dieser Hinsicht sogar führend.



Der Metrologe in seinem Element.

Bis jetzt hat man eigentlich nur das Masssystem auf dem Papier anerkannt und nicht das, was man mit diesem Masssystem im Labor realisiert hat. Diese gegenseitige Anerkennung ist ein grosser Schritt über das hinaus.

**Sie haben auf die Zusammenarbeit zwischen den nationalen Metrologieinstituten in Europa hingewiesen. Wieso ist Europa darin speziell führend?**

Das ist eine Folge der kleinräumigen Struktur. Zudem haben wir in Europa nicht, wie in anderen kontinentalen Regionen, ein einziges dominierendes nationales Metrologieinstitut.

Die Zusammenarbeit der europäischen nationalen Metrologieinstitute ist über Jahrzehnte gewachsen. Sie begann schon in den Siebzigerjahren mit jährlichen Treffen der Direktoren. Nachher wurde sie bedeutend verstärkt durch EUROMET, die europäische Zusammenarbeit nationaler Metrologieinstitute, die jetzt zu EURAMET geworden ist. Man hat also eine Zusammenarbeit allmählich von unten

aufgebaut, das mit grossem Erfolg. Es ist schnell klar geworden, dass man gewisse Dinge zusammen realisieren kann und muss, vor allem auf dem Gebiet der Forschung und Entwicklung für die Bereitstellung der Messgrundlagen, dass man aber bei aller Zusammenarbeit die spezifischen nationalen Bedürfnisse nicht vernachlässigen darf. Die Gesamtheit der vernetzten nationalen Metrologieinstitute in Europa funktioniert heute eigentlich wie ein virtuelles europäisches Metrologieinstitut.

*Wäre es nicht auch eine Möglichkeit gewesen, statt ein virtuelles ein reales europäisches Metrologieinstitut zu schaffen?*

Durchaus, doch das wäre eine falsche Strategie gewesen, und zwar aus zwei Gründen: Zum einen ist es erwiesenermassen nicht möglich, von einem Ort aus die vielfältigen Bedürfnisse Europas abzudecken. Die Fachpersonen, die metrologische Dienstleistungen erbringen, müssen relativ nahe bei den Kunden vor Ort in einem Land sein. Das Umgekehrte ist viel ergiebiger, die Metrologen, die nah bei den Kunden in einem Land sind, europaweit in Projekten zusammenarbeiten zu lassen.

Zum anderen muss die Verantwortung für richtiges Messen bei einer Institution in einem Land selber sein. Dies ist in den meisten Ländern verfassungsmässig verankert und politisch wie metrologisch notwendig. Wollte man das ändern, müsste man mit internationalen Abkommen die Verantwortung für die Realisierung der nationalen Referenzmasse, für die Bereitstellung der metrologischen Grundlagen und Dienstleistungen klar aus dem einzelnen Staat hinaus delegieren und neu ordnen. Vor allem gälte es auch sicherzustellen, dass sämtliche von einem überstaatlichen Metrologieinstitut abhängigen Länder wirklich auch gleichberechtigt bedient würden. Und das in einem Bereich auf den Forschung und Industrie im Wettbewerb angewiesen sind.

Darum hat man genau das Umgekehrte gemacht: Jedes Land betreibt das nationale Metrologieinstitut, das für die Bedürfnisse seiner Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft nötig ist. Und weil im Bereich der metrologischen Forschung und Entwicklung mehr nötig ist, als sich ein einzelnes Land leisten kann, arbeitet man künftig sogar in einem gemeinsamen *Europäischen Metrologieforschungsprogramm* zusammen.

*Wechseln wir die Blickrichtung: Was sind die grössten Herausforderungen der Metrologie im kommenden Jahrzehnt?*

Da sind zunächst die Ansprüche an die Metrologie zu nennen, die sich im breiten Bereich Chemie und spezifischer im Bereich Gesundheit und Biotechnologie ergeben. Das heisst also, in der Metrologie nahe beim menschlichen Leben selbst. Es geht darum, auf diesen Gebieten die notwendigen Messmöglichkeiten und international anerkannte Referenzmasse zur Verfügung zu stellen. Es handelt sich um ein Gebiet, das vom Aufwand für Forschung und Entwicklung her wahrscheinlich ähnliche Dimensionen erreichen könnte, wie das bisherige klassische Gebiet der Metrologie. Das kollidiert jedoch mit dem allgemeinen Trend

zur Beschneidung der Budgets der nationalen Dienstleister, unter anderem auch der nationalen Metrologieinstitute. Um dennoch die notwendigen Dienstleistungen bereitstellen zu können, ist das schon erwähnte *Europäische Metrologieforschungsprogramm* in die Wege geleitet worden.

Eine zweite grosse Herausforderung ist auf dem Gebiet der klassischen Metrologie angesiedelt. Bis anfangs des nächsten Jahrzehnts beabsichtigt man wichtige SI-Einheiten neu zu definieren. Allen voran soll die Einheit der Masse, das Kilogramm, nicht mehr länger durch den Kilogramm-Prototypen, das sogenannte Urkilogramm, festgelegt sein. Vielmehr soll sie gestützt auf Naturkonstanten definiert werden. Weiter sind die Einheiten der Stromstärke, Stoffmenge und Temperatur neu zu definieren. Das erfordert in den nächsten Jahren noch wesentliche Anstrengungen.



Der Direktor im Kontakt mit Mitarbeitenden.

*Wäre es eigentlich nicht auch möglich, die Zahl der Basiseinheiten auf ganz wenige zu reduzieren? Schliesslich könnte man doch mittels eines Frequenzkamms sowohl Einheiten der Länge wie der Zeit realisieren!*

Die Frage, wie viel Basiseinheiten es brauche, ist eine viel debattierte Angelegenheit. Im Gebäude der Masseinheiten finden sich tatsächlich Abhängigkeiten. Die Basiseinheit der Länge, den Meter, hat man über die Lichtgeschwindigkeit festgelegt. Der Meter ist somit nicht unabhängig von der Sekunde. Und trotzdem, selbst wenn ein mathematischer Zusammenhang besteht, ist eine Länge als Basisgrösse etwas anderes als eine Zeit.

Das ist aber letztlich nicht so wichtig. Viel wesentlicher ist es, über gute Einheitendefinitionen verfügen zu können, die jeweils nicht nur *eine* Realisierungsmöglichkeit offen lassen. Wenn man nun die Einheit Kilogramm neu definiert, sollte es möglich sein, sie auf mehr als eine Art zu realisieren.

*Sind denn überhaupt das Internationale Einheitensystem und seine Basiseinheiten für Nichtmetrologen noch verständlich?*

Nun, die Leute verstehen schon, dass die Zeit oder die Länge wichtige Grössen sind. Dass man für diese Grössen Einheiten hat, ist gewissermassen natürlich, von unseren Lebenserfahrungen her abgeleitet. Die neu erarbeiteten Einheitendefinitionen gehen aber mittlerweile recht weit weg von der Alltagserfahrung. Deshalb wäre es günstig, man fände Definitionen, die noch irgendwie nachvollziehbar sind. Die Definition einer Einheit muss ja auch nicht direkt die Realisierung aufzeigen, sie muss sie nur ermöglichen.

#### *Ist der Motor für Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Metrologie das Streben nach grösserer Genauigkeit?*

Anlass für wesentliche Verbesserungen waren vor allem wissenschaftliche Entdeckungen. Ausgehend davon hat man festgestellt, dass man eine Messgrösse oder eine Masseinheit besser realisieren oder genauere Instrumente herstellen kann.

So ist beispielsweise auf dem Gebiet der elektrischen Spannung die Entwicklung von ganz genauen Digitalvoltmetern nur möglich gewesen dank dem Josephson-Experiment und der Tatsache, dass man die sich daraus ergebenden metrologischen Möglichkeiten erkannt hatte.

#### *Wir haben also eine gegenseitige Abhängigkeit von wissenschaftlichen Entdeckungen und metrologischen Entwicklungen?*

Genau, es ist sozusagen ein gegenseitiges Hochschaukeln.

#### *Warum müssen wir immer noch genauer messen?*

Da gibt es ganz verschiedene Gründe. Im Bereich Forschung und Entwicklung ist es evident: Fortschritt und Entwicklung sind in vielen Bereichen nur möglich, wenn man noch besser messen kann. Die Validierung von Forschungsergebnissen hängt davon ab, dass die Messinstrumente, die verwendet werden, zuverlässig messen und international anerkannt sind. Vielfach sucht man nur ganz kleine Effekte, so dass man auch entsprechend hohe Genauigkeitsanforderungen an ein Instrument stellen muss.

In der Produktion ist es eigentlich dasselbe. Um den Produktionsprozess genauer fassen und verbessern zu können, zum Beispiel das Material zu minimieren oder optimieren, steigen laufend die Anforderungen, noch genauer messen zu können.

Noch genauer ist ja mehr als nur präzis. Noch genauer heisst: im System der Masseinheiten präzis, also anerkannt weltweit präzis.

Im internationalen Handel wird auch verlangt, dass der Austausch von Gütern einem gewissen Standard entspricht und das umfasst auch eine bestimmte, in der Regel zunehmende, Genauigkeit. Man könnte fast von einem Naturgesetz sprechen, dass der Fortschritt in jeglicher Hinsicht unmittelbar auch vom Fortschritt bei den Messgenauigkeiten und Messmöglichkeiten abhängt. Sei das nun im Kon-

sumgüterbereich, bei Nahrungsmitteln, im Umweltbereich oder im Bereich der Mobilität, man denke nur an Navigationssysteme.

#### *Gibt es eigentlich eine Grenze der Genauigkeit?*

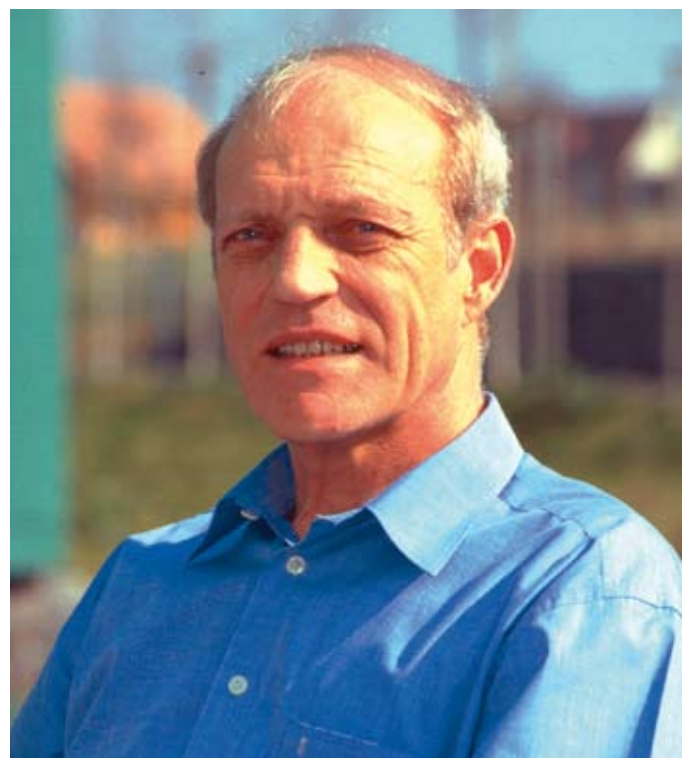
Ich weiss nicht, ob das jemand überhaupt abschliessend beantworten kann. Vor 20 Jahren hätte ich auf diese Frage wohl geantwortet: Für typische elektrische Messgrössen wie Spannung und Widerstand liegt die Grenze der relativen Genauigkeit bei einem Hundertmillionstel. Aber durch die Entdeckung elektrischer Quanteneffekte ist man mittlerweile um einen Faktor 10 bis 100 genauer geworden.

Vermutlich liegen die Grenzen der Genauigkeit dort, wo man durch Messen dasjenige, das man misst, derart verändert, dass man nicht mehr das Richtige misst; das heisst dort, wo man diesen Einfluss nicht mehr richtig modellieren und damit korrigieren kann.

#### *Sie haben das nationale Metrologieinstitut der Schweiz in fachlicher und menschlicher Hinsicht sehr erfolgreich geführt. Welche Faktoren waren für diesen Erfolg massgebend?*

Der Schlüssel ist sicher der adäquate Aufbau des Personals. Das richtige Personal zur richtigen Zeit am richtigen Ort und dann noch mit den richtigen Mitteln ausgestattet, das ist das Rezept. Richtige Mittel, das heisst Labors, Instrumente und auch Gebäude.

Hier zeigt sich ein anderer Aufschaukeleffekt, der von einem kleinen Kern ausgeht und sich weiter aufbaut. Etwa Mitte der Siebzigerjahre hat dies mein Vorgänger Otto Piller in Gang gesetzt. Er war der Auffassung, dass wir nicht überall sekundär und abhängig sein dürfen, sondern primär werden und etwas zur weltweiten Entwicklung der





In der Ära Schwitz entstanden die Erweiterungsbauten, welche im Mai 2001 eingeweiht werden konnten. Mit ihnen vergrösserte sich die Nutzfläche der bestehenden Gebäude um gut die Hälfte auf 15 000 m<sup>2</sup>.

Metrologie beitragen sollten. Deshalb hat er entsprechende Leute geholt, um in einzelnen Bereichen die notwendigen Messgrundlagen aufzubauen.

Eine interessante Erfahrung aus dieser Zeit ist, dass gute Leute, Physiker, Chemiker oder Elektroingenieure, die in den Grundlagenarbeiten im Labor ausgezeichnete Leistungen erbracht haben, auch andere, zunächst «nicht gesuchte» Arbeiten gut erledigt haben: zum Beispiel den Aufbau eines Laborqualitätsmanagementsystems, Aufgaben im gesetzlichen Messwesen, Einsätze im Bereich der Akkreditierung als Experten oder auch Mitwirkung in internationalen Arbeitsgruppen und das Tragen von Verantwortung im internationalen Rahmen. Gut qualifizierte Leute waren meist bereit, auch anderes zu übernehmen, insbesondere auch Führungsarbeit.

*Es gibt ja keine spezialisierte Ausbildung für Metrologie und eigentlich auch keinen typischen Weg zum Metrologen. Wie sind Sie eigentlich zur Metrologie gekommen?*

Das kam durch meine Diplomarbeit und später durch meine Dissertation am Physikinstitut in Fribourg und am Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen.

Gegenstand der Diplomarbeit war das Projekt eines Winkelinterferometers. In der Dissertation realisierte ich dann unter anderem dieses Winkelinterferometer, und zwar im Rahmen des Aufbaus eines sogenannten Kristallspektrometers, eines Instruments, das sehr genau Gamma- und

Röntgenstrahlen am damals neu in Betrieb gehenden PSI messen konnte.

Dadurch bin ich schon in den frühen Siebzigerjahren in Kontakt gekommen mit dem Amt für Mass und Gewicht, wie METAS damals hiess. Ich habe sogar einmal ein Laserinterferometer auf dem 1-Meter-Komparator ausgemessen. Ich kam weiter auch in Berührung mit dem damaligen US-amerikanischen *National Bureau of Standards*, dem heutigen *National Institute of Standards and Technology (NIST)*. Nach Abschluss meiner Dissertation 1977 verbrachte ich sogar zwei Jahre am NIST, aber ursprünglich nicht mit Blick auf eine spätere Tätigkeit am METAS. Die zwei Jahre NIST haben dann das ihre dazu beigetragen.

Physikalisches Experimentieren ist immer auch mit Messen verbunden. Das Messen, so wie es an einem nationalen Metrologieinstitut praktiziert wird, ist jedoch eine Art Umkehrung des normalen Messens. Man hinterfragt das Messen selbst, nimmt nicht einfach ein Messinstrument, liest ein Messresultat ab und damit hat es sich. Man fragt sich vielmehr: Wie präzise misst es? Oder noch besser: Wie genau misst das Instrument? Mit diesen Fragen befasst sich der Metrologe, damit andere nachher so genau messen können, wie es nötig ist. Das ist denn auch zentraler Teil der Dienstleistung eines nationalen Metrologieinstituts.

*Herr Schwitz, wir danken Ihnen für dieses Gespräch und wünschen Ihnen für Ihre Zukunft alles Gute.*

# Fixpunktmessungen bestätigen CMC-Einträge

*Für die weltweite Anerkennung der Normale und Kalibrierzertifikate ist die erfolgreiche Teilnahme an internationalen Messvergleichen von ausschlaggebender Bedeutung. Das Labor Thermometrie und Hygrometrie des METAS beteiligte sich am Vergleich der Fixpunkt-Realisierungen der Internationalen Temperaturskala von 1990 (ITS-90). Die Ergebnisse bestätigen, dass METAS die CMC-Anforderungen in allen Fixpunkten erfüllt.*

ANTON STEINER

Die erfolgreiche Teilnahme eines Nationalen Metrologieinstituts an internationalen Messvergleichen ist eine der Hauptvoraussetzungen für die weltweite Anerkennung seiner Normale und Kalibrierzertifikate. METAS nimmt in allen Bereichen, wo es metrologische Dienstleistungen anbietet, regelmässig an Messvergleichen teil.

## Das Kelvin und die Internationale Temperaturskala

Die SI-Einheit für die Temperatur, das Kelvin, ist definiert als der 273.16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Wassertripelpunktes. Die internationale Temperaturskala von 1990 (ITS-90) wird durch hoch stabile Temperaturfixpunkte (Dampfdruck-, Tripel-, Schmelz- und Erstarrungspunkte) realisiert, deren Werte per Konvention festgelegt worden sind.

Tripelpunkte bedingen geschlossene Einstoffsysteme, in denen die drei möglichen Phasenzustände fest, flüssig und gasförmig eines Stoffes im Gleichgewicht koexistieren. Erstarrungs- und Schmelzpunkte werden in geschlossenen Zweistoffsystemen (Metall und inertes Gas) erzeugt, in denen die Zustände fest und flüssig eines Metalls im Gleichgewicht bei einem systeminternen Druck von 1 atm koexistieren.

Die durch die Fixpunkte definierten Temperaturwerte können mit Normal-Thermometern gemessen werden. Die Temperaturskala wird in der Folge durch Interpolation der Kalibrierkurven und durch Vergleichsmessungen mit den «interpolierten» Normal-Thermometern bei stationären Bedingungen in geregelten Thermostaten weitergegeben.

## Messvergleich zwischen -189 °C und 419 °C

Unter Federführung des *Laboratoire national de métrologie et d'essais, Institut national de métrologie du Conservatoire national des arts et métiers (LNE-INM/CNAM)*, Paris, wurde zwischen 2001 und 2004 ein europäischer Vergleich zur messtechnischen Äquivalenz der Umsetzung der ITS-90 durch die nationalen Metrologieinstitute (NMI) durchgeführt. Der Vergleich deckte den Temperaturbereich von -189.344 2 °C (Argon-Fixpunkt) bis 419.527 °C (Zink-Fixpunkt) ab.

24 NMI aus ganz Europa verglichen ihre Fixpunkt-Realisierungen der ITS-90 gemäss den Vorgaben des technischen Protokolls miteinander. Im September 2006 genehmigte das



- 1 Mit diesem Dewar-Gefäss wird im METAS der Argon-Fixpunkt realisiert, das heisst der Argon-Tripelpunkt, der bei -189.344 2 °C liegt.

Konsultativkomitee für Thermometrie (Comité consultatif de thermométrie, CCT), beratendes Organ des Internationalen Komitees für Mass und Gewicht (CIPM), die Veröffentlichung des Schlussberichts [1]. Das CCT bestätigt damit, dass der Messvergleich den Anforderungen des Abkommens der Internationalen Meterkonvention über die gegenseitige Anerkennung der Kalibrier- und Messmöglichkeiten der NMI (CIPM Mutual Recognition Arrangement, CIPM-MRA) entspricht.

Die Ergebnisse wurden in die Datenbanken des Internationalen Büros für Mass und Gewicht (BIPM) übernommen, nämlich in die Datenbank der Schlüsselvergleiche (Key and Supplementary Comparison, [http://kcdb.bipm.org/appendixb/kcdb\\_apb\\_search.asp](http://kcdb.bipm.org/appendixb/kcdb_apb_search.asp)) und der Kalibrier- und Messmöglichkeiten (Calibration and Measurement Capabilities CMC, <http://kcdb.bipm.org/appendixc>).

### Teilnehmende Institute

PTB: Physikalisch-Technische -Bundesanstalt, Deutschland  
 GUM: Główny Urząd Miar, Polen  
 CMI: Český metrologický institut, Tschechische Republik  
 INM(Ro): Institutul National de Metrologie, Rumänien  
 UME: Ulusal Metroloji Enstitüsü, Türkei  
 NPL: National Physical Laboratory, Vereinigtes Königreich  
 JV: Justervesenet, Norwegen  
 EIM: Hellenic Institute of Metrology, Griechenland  
 SMD: Service de la Métrologie, Belgien  
 NML: National Metrology Laboratory, Irland  
 IMGC: Istituto di Metrologia «Gustavo Colonnetti» del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italien, seit 01.01.06 Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (iNRI)  
 CEM: Centro Español de Metrología, Spanien

### METAS: Bundesamt für Metrologie, Schweiz

IPQ: Instituto Português da Qualidade, Portugal  
 BEV: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Österreich  
 MIRS: Faculty of Electrical Engineering, Slowenien  
 NMI/VSL: NMI Van Swinden Laboratorium BV, Niederlande  
 MIKES: Centre for Metrology and Accreditation, Finnland  
 VMT/PFI: Temperature Standard Laboratory, Litauen  
 SP: Swedish National Testing and Research Institute, Schweden  
 DTI: Danish Technological Institute, Dänemark  
 SMU: Slovak Institute of Metrology, Slowakei  
 OMH: National Office of Measures, Ungarn  
 LNE-INM/CNAM: Laboratoire national de métrologie et d'essais, Institut National de Métrologie du Conservatoire National des Arts et Métiers, Frankreich (Pilotinstitut)

### Widerstandsthermometer als Transfornormale

Im Temperaturbereich des hier vorgestellten Messvergleichs wird die ITS-90 an sieben definierten Fixpunkten abgestützt:

- Argon-Tripelpunkt: Ar, -189.344 2 °C;
- Quecksilber-Tripelpunkt: Hg, -38.834 4 °C;
- Wasser-Tripelpunkt: H<sub>2</sub>O, 0.01 °C;
- Gallium-Schmelzpunkt: Ga, 29.764 6 °C;
- Indium-Erstarrungspunkt: In, 156.598 5 °C;
- Zinn-Erstarrungspunkt: Sn, 231.928 °C und
- Zink-Erstarrungspunkt: Zn, 419.527 °C.

Mehrere Zellen eines gleichen Fixpunktes stellen zusammen das entsprechende nationale Temperatur-Normal dar.

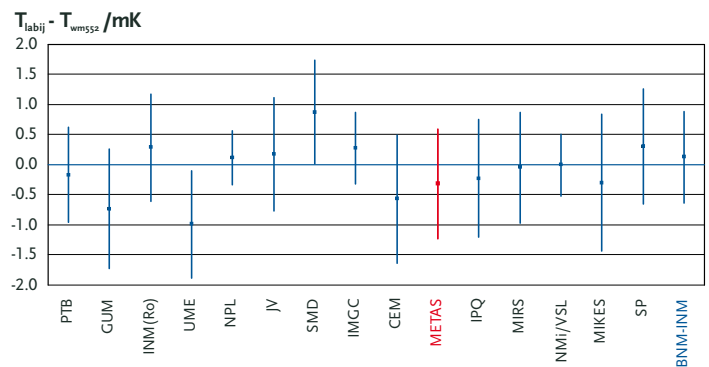
Um die nationalen Temperatur-Normale, das heisst die einzelnen Fixpunkt-Realisierungen der NMI, miteinander vergleichen zu können, zirkulierten Normal-Thermometer als Transfornormale von Institut zu Institut. Im vorliegenden Fall waren dies lange, stabförmige und mit Quarzglas umschlossene Platin-Widerstandsthermometer (Long Stem Standard Platinum Resistance Thermometers: Long Stem SPRT), wie sie in der Definition der ITS-90 als Interpolationsinstrumente für die Umsetzung der Temperaturskala zwischen den vorgehend angeführten Fixpunkten vorgesehen sind.

### METAS-Messungen erfüllen internationale Anforderungen

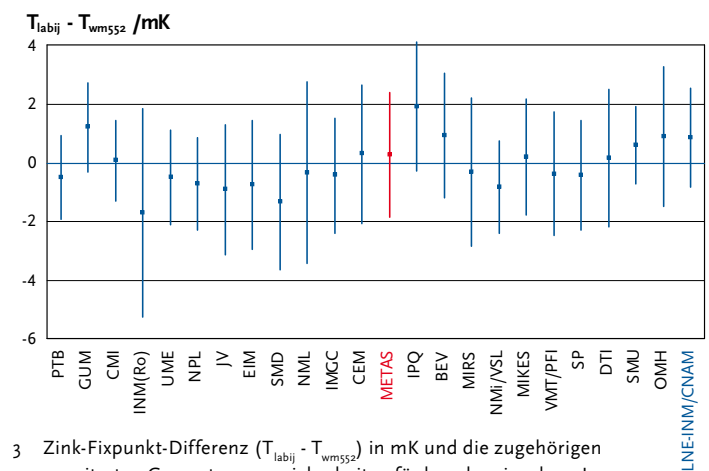
Der Schlussbericht zeigt die jeweilige Äquivalenz für die verschiedenen Fixpunkte der teilnehmenden Institute unter Berücksichtigung der von den NMI deklarierten Messunsicherheiten. METAS nahm mit allen seinen ITS-90-Fixpunkten, die im gegebenen Temperaturbereich liegen, am Messvergleich teil.

Die Resultate bestätigen, dass METAS die CMC-Anforderungen in allen Fixpunkten erfüllt, seine Kalibrier- und Messmöglichkeiten also im Rahmen der deklarierten Calibration and Measurement Capabilities (CMC) international anerkannt werden. Diagramm 2 zeigt die Ergebnisse beim tiefsten Fixpunkt, dem Argon-Tripelpunkt von -189.344 2 °C, Diagramm 3 die Resultate beim höchsten Fixpunkt, dem Zink-Erstarrungspunkt von 419.527 °C. Die von METAS zuhanden des schweizerischen Kalibrierdienstes (Swiss Calibration Service, SCS), aber auch komplementär zum SCS angebotenen Dienstleistungen (www.

metas.ch/services) bauen stets auf international abgestützten Mess- und Kalibriermöglichkeiten auf.



2 Argon-Fixpunkt-Differenz ( $T_{\text{Labij}} - T_{\text{wm552}}$ ) in mK und die zugehörigen erweiterten Gesamtmessunsicherheiten für  $k=2$  der einzelnen Institute.



3 Zink-Fixpunkt-Differenz ( $T_{\text{Labij}} - T_{\text{wm552}}$ ) in mK und die zugehörigen erweiterten Gesamtmessunsicherheiten für  $k=2$  der einzelnen Institute.

### Referenz

- [1] E. Renaot et al, Final Report on EUROMET.T-K3: Regional key comparison of the realisations of the ITS-90 from 83.8058 K to 692.677 K, Metrologia, 44, Tech. Suppl., 03001, 2007, www.bipm.org/utis/common/pdf/final\_reports/T/K3/EUROMET.T-K3.pdf

# Upgrades verbessern Ozonmessgeräte

Als eines der ersten Institute hat METAS kürzlich zusammen mit dem National Institute of Standards and Technology (NIST) an eigenen und fremden primären Ozonmessgeräten (Ultraviolett-Photometer) Upgrades vorgenommen. Der anschliessend durchgeführte Messvergleich mit den umgebauten Geräten zeigt, dass die Upgrades wesentliche Verbesserungen mit sich brachten. Ein internationaler Schlüsselvergleich (Key Comparison) der Ozonnormale der nationalen Metrologieinstitute ist gegenwärtig im Gang.

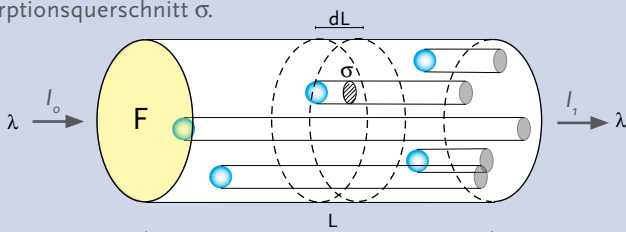
DANIEL SCHWALLER, BERNHARD NIEDERHAUSER



1 Messvergleiche von Ozonnormalen im METAS: Im Vordergrund befindet sich eines der fünf umgebauten Ultraviolett-Photometer (Standard Reference Photometer, SRP), im Hintergrund das Referenzgerät SRP0 des National Institute of Standards and Technology (NIST).

## UV-Photometrie

Ein monochromatischer Lichtstrahl mit der Wellenlänge  $\lambda$  durchdringt ein Gasvolumen mit der geometrischen Länge  $L$ . Im durchstrahlten Volumen  $V$  befinden sich  $n$  Ozonmoleküle. Jedes Molekül hat bei der gegebenen Wellenlänge einen Absorptionsquerschnitt  $\sigma$ .



Trifft nun das einfallende Licht mit der Lichtstärke (Intensität)  $I_0$  auf die Moleküle, wird es geschwächt und eine geringere Lichtstärke  $I_1$  tritt aus dem Gasvolumen aus. Der Abschwächungsvorgang wird durch den experimentell ermittelten Absorptionskoeffizienten  $\alpha$  bei einem Druck von  $p_n = 101.325$  kPa und einer Temperatur von  $T_n = 0$  °C des durchstrahlten Gases charakterisiert. Die Unsicherheit dieses Absorptionskoeffizienten  $\alpha$  dominiert die Unsicherheit der Ozonmessresultate von  $>1.7$  % relativ.

2 Prinzip der UV-Photometrie.

Ozon ( $O_3$ ) ist ein aus drei Sauerstoffatomen bestehendes, instabiles Molekül, das innerhalb kürzester Zeit zu Sauerstoff ( $O_2$ ) zerfällt. Auf der Erdoberfläche bildet sich Ozon aus Luftschadstoffen wie Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ), Kohlenmonoxid ( $CO$ ) und flüchtigen organischen Komponenten ( $VOC$ ) unter dem Einfluss ultravioletter Strahlung. Ozon dringt tief in die Lungen ein und kann zu Entzündungen und Atemwegserkrankungen führen. Deshalb wird Ozon in der Schweiz im Rahmen der Luftreinhalteverordnung zum Schutz von Mensch und Umwelt kontinuierlich gemessen.

## Ultraviolett-Photometer als Ozonnormale

Das nationale Normal für Ozonmessungen des METAS ist ein hochempfindliches Ultraviolett-Photometer spezieller Bauart, das durch das NIST in Gaithersburg (USA) hergestellt wurde (siehe Bild 1 und Kasten 2). Zurzeit stehen weltweit 39 solche Geräte im Einsatz. Sie werden als Standard Reference Photometer (SRP) bezeichnet. Seit 1994 besitzt METAS das SRP14 und verwendet es als nationales Normal. Ein weiteres Gerät, das SRP18, steht seit 1998 als Versuchsgerät zur Verfügung.

Für Grundlagenarbeiten und um unabhängig vom NIST zu werden, hat METAS bereits 2003 eine eigene Software entwickelt [1]. Sie ermöglichte es, Hardwareanpassungen am SRP18 durchzuführen. Durch vielfältige Validierungsarbeiten wurden kleinere, systematische Fehler bereits früh erkannt und beseitigt. Die Umbauarbeiten umfassten im Wesentlichen eine neue Elektronik, den Ersatz von Kapillaren durch Massendurchflussregler, neue Temperatur- und Druckmessungen und das Beseitigen des Temperaturgradienten in der Messzelle. Das nationale Normal SRP14 wurde dabei im Originalzustand belassen.

## NIST-Upgrades bringen wesentliche Verbesserungen

Auch dem NIST waren kleine systematische Fehler bekannt bzw. wurden durch einen koreanischen Photometer-Eigenbau bestätigt. Seit 2007 bietet deshalb das NIST seinen Kunden zwei Upgrades an [2]. Das Upgrade 1 beinhaltet neue Messzellen mit leicht abgewinkelten Messzellenfenstern, um Multireflexionen in der Messzelle zu verhindern. Das Upgrade 2 bringt eine thermische Entkoppelung der optischen Komponenten von der Heizung und der Strahlungswärme der Lampe. Wie beim modifizierten SRP18 reduziert das zweite Up-

grade den bestehenden Temperaturgradienten in der Messzelle massiv.

Als eines der ersten Institute führte METAS zusammen mit dem NIST im September 2007 die Upgrades durch. Gleichzeitig mit den METAS-Geräten SRP14 und SRP18 wurden beide Upgrades auch an den SRP15 und SRP23 der EMPA und am SRP26 des österreichischen Umwelt-Bundesamtes (UBA) vorgenommen (Bild 3).

### Upgrades verschieben Kennlinie

Nach theoretischen Betrachtungen des BIPM und des NIST [3] ist eine relative Veränderung der Kennlinie durch Upgrade 1 von -0.5 % und durch Upgrade 2 von +0.4 % zu erwarten. Die durch Messvergleiche mit dem SRP0 des NIST als Referenznormal experimentell erzielten Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt. Die ersten Resultate mit Bezug auf SRP0 lassen vermuten, dass sich durch die beiden Upgrades die Differenzen unter den SRP gegenüber der Studie CCQM-P28 [4], maximal 0.5 %, wesentlich vermindern lassen.

Beim Versuchsgerät SRP18 bestätigt sich ausserdem die Richtigkeit der am METAS in den letzten Jahren durchgeführten Modifikationen. Durch das Upgrade 2 wurde keine bedeutende Verschiebung des Signals mehr festgestellt, da die Problematik mit dem Temperaturgradienten schon weitgehend entschärft war. Durch den Umbau verringerte sich die Differenz der beiden Schweizer Normale SRP14 und SRP18 von +0.34 % auf -0.12 %, wie ein zusätzlicher Direktvergleich der beiden Geräte zeigte.

Für die Weitergabe der Referenzwerte wurde immer das SRP14 benutzt. Da sich nach den beiden Upgrades die Verschiebungen im Promillebereich praktisch kompensieren, sind alle in der Schweiz auf das nationale Normal rückverfolgbaren Werte innerhalb der angegebenen Messunsicherheit mit dem umgebauten SRP14 kompatibel. Diese Resultate zeigen, wie wichtig es ist, die Normale und Referenzmethoden ständig weiter zu entwickeln und regelmässig Messvergleiche durchzuführen.

### International anerkannte Kalibrierungen

METAS organisiert im Frühling und im Herbst jeden Jahres Kalibrierkampagnen, welche Bundesstellen wie Meteo-



3 Einbau der neuen Messzellen ins nationale Ozonnormal SRP14 des METAS.

Schweiz und der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), kantonalen Ämtern für Luftreinhaltung, Lüfthygiene und Umweltschutz sowie privaten Messlaboratorien die Möglichkeit bieten, ihre Transferrnormale mit dem nationalen Normal SRP14 zu kalibrieren. Alle SRP, die durch regelmässige Messvergleiche überprüft werden, gelten als Primärnormale. Bis heute gibt es keine Vergleichsmethode mit besserer Reproduzierbarkeit.

Um die internationale Anerkennung der Kalibrierungen mit dem nationalen Ozonnormal SRP14 sicherzustellen, nimmt METAS regelmässig an Schlüsselvergleichen (Key Comparison) des Internationalen Büros für Mass und Gewicht (BIPM) in Paris teil. Über die Resultate des laufenden Messvergleichs BIPM-QM-K1, den das Consultative Committee for Amount of Substance (CCQM) mit Bezug auf das SRP27 des BIPM als Referenznormal zum gegenwärtigen Zeitpunkt durchführt, wird METAS informieren, sobald die Ergebnisse vorliegen.

	Verschiebung durch Upgrade 1	Verschiebung durch Upgrade 2	Verschiebung total	Abweichung zu SRP0 nach Upgrades
SRP14 (METAS)	-0.63 %	+0.50 %	-0.13 %	+0.05 %
SRP15 (EMPA)	-0.60 %	+0.45 %	-0.15 %	+0.03 %
SRP18 (METAS)	-0.85 %	+0.12 %	-0.73 %	-0.06 %
SRP23 (EMPA)	-0.68 %	+0.58 %	-0.10 %	+0.06 %
SRP26 (UBA)	-0.53 %	+0.46 %	-0.07 %	-0.02 %

4 Weil die Upgrades 1 und 2 die Kennlinie der vom NIST hergestellten Ozonnormale in gegensätzlichen Richtungen verschieben, ist der Gesamteffekt klein. Die Differenz zum Referenznormal SRP0 des NIST ist ebenfalls sehr klein (< 0.1 %).

### Referenzen

- [1] Primary Standard Optimised with METAS Software, metINFO, Vol. 11, Nr. 2, 2004.
- [2] Letter of October 23, 2006, J. E. Norris, NIST.
- [3] J. Viallon et al., Metrologia 43, pp 441-450 doi: 10.1088/0026-1394/43/5/016, 2006.
- [4] J. Viallon et al., Metrologia 43 08010 doi: 10.1088/0026-1394/43/1A/08010, 2006.

# Bruno Vaucher récompensé par la Médaille OIML

## Bruno Vaucher mit OIML-Medaille ausgezeichnet

*Bruno Vaucher, docteur en physique et directeur suppléant de METAS de 1997 à 2006, a été honoré de la Médaille OIML lors de la 42<sup>ème</sup> réunion du Comité International de Métrologie Légale à Shanghai le 26 octobre 2007.*

*Bruno Vaucher, Doktor in Physik und stellvertretender Direktor des METAS von 1997 bis 2006, wurde anlässlich der 42. Versammlung des Internationalen Komitees der gesetzlichen Metrologie (CIML) in Shanghai mit der OIML-Medaille ausgezeichnet.*



Bruno Vaucher a participé pour la première fois au nom de l'Office fédéral de métrologie en 1995 à une réunion CIML. La réunion de 1995 a eu lieu à Pékin, pour la première fois de l'histoire en Chine. La réunion d'octobre 2007 à Shanghai était la seconde réunion en Chine et également la dernière en tant que membre CIML pour Bruno Vaucher qui est retraité depuis le 1er janvier 2007. Ce qui a commencé en Chine trouve ainsi également une conclusion en Chine.

1995 vertrat Bruno Vaucher das damalige Eidgenössische Amt für Messwesen erstmals an einem CIML-Meeting. Dieses Meeting fand in Peking statt und war das erste in China. Das Meeting von Oktober 2007 in Shanghai war erst das zweite in China – und das letzte für Bruno Vaucher, der seit dem 1. Januar 2007 pensioniert ist, jedoch offiziell noch METAS-Delegierter des CIML war. Was einst in China begonnen hatte, fand somit auch in China seinen Abschluss.

Bruno Vaucher a joué un rôle clé dans la modernisation de la métrologie légale non seulement en Suisse mais également au niveau international. Il a toujours activement œuvré pour mettre en place les conditions permettant la reconnaissance internationale des essais d'évaluation de la conformité réalisés par METAS. Il s'est en même temps assuré que les résultats d'essais réalisés à l'étranger soient également largement reconnus en Suisse.

Bruno Vaucher hat bei der Modernisierung der gesetzlichen Metrologie nicht nur in der Schweiz, sondern auch auf internationaler Ebene eine zentrale Rolle gespielt. So war er massgeblich daran beteiligt, die Bedingungen für die internationale Anerkennung der am METAS durchgeführten Konformitätsprüfungen festzulegen. Gleichzeitig hat er sichergestellt, dass die im Ausland durchgeführten Prüfungen auch in der Schweiz weitgehend anerkannt werden.

Bruno Vaucher a été très actif pour la mise en place des accords bilatéraux entre la Suisse et l'Union européenne dans le domaine des instruments de mesure. Il a en parallèle conduit la modernisation et assuré l'équivalence de la législation suisse à la législation européenne. Bruno Vaucher a, en outre, exploité les indicateurs, concernant l'exécution de l'obligation de vérifier de manière particulièrement adéquate, dans le but de rendre le travail des vérificateurs crédible et reconnu.

Bruno Vaucher hat sich stark für die Bilateralen Abkommen zwischen der Schweiz und der Europäischen Union im Bereich der Messinstrumente eingesetzt. Parallel dazu hatte er eine führende Rolle inne bei der Modernisierung der schweizerischen Gesetzgebung und der Sicherstellung ihrer Gleichwertigkeit zur europäischen Gesetzgebung. Bruno Vaucher hat weiter durch die Einführung von Indikatoren massgeblich dazu beigetragen, den Vollzug einer zweckmässigen Eichpflicht so zu gestalten, dass die Arbeit der kantonalen Eichmeister an Glaubwürdigkeit und Anerkennung gewinnt.

Bruno Vaucher a représenté la Suisse auprès de l'OIML durant plus de dix ans. Il s'est toujours engagé pour limiter les entraves techniques au commerce, pour éviter la duplication des essais ainsi que pour rendre la métrologie légale aussi simple et efficace que possible. Depuis 2005, Bruno Vaucher a eu l'honneur d'avoir été choisi comme membre du conseil de la présidence de l'OIML.

Bruno Vaucher hat während mehr als zehn Jahren die Schweiz in der Internationalen Organisation der Gesetzlichen Metrologie (OIML) vertreten. Sein Einsatz in den Bereichen des Abbaus technischer Handelshemmnisse, der Vermeidung von Mehrfachprüfungen und der Vereinfachung der gesetzlichen Metrologie sowie der Steigerung ihrer Wirksamkeit war beispielhaft. Im Jahr 2005 wurde Bruno Vaucher zudem die Ehre zuteil, in das Präsidium der OIML gewählt zu werden.

Cette médaille est une récompense largement méritée pour son engagement et ses succès durant de nombreuses années au service de METAS, de l'OIML et de la métrologie. Nous félicitons Bruno Vaucher très chaleureusement pour cette haute distinction et lui formulons tous nos vœux pour la suite.

Die OIML-Medaille, die Bruno Vaucher an der CIML-Versammlung 2007 in Shanghai verliehen wurde, ist eine verdiente Würdigung seines Engagements und seiner Erfolge während zahlreicher Jahre im Dienst von METAS, der OIML und der Metrologie. Wir gratulieren Bruno Vaucher herzlich zu dieser hohen Auszeichnung und wünschen ihm weiterhin alles Gute.

Le nouveau membre CIML sera Dr Philippe Richard, sous-directeur et chef de la division *Mécanique, rayonnement et temps* de METAS.

Neuer Delegierter im CIML ist Dr. Philippe Richard, Vize-Direktor und Leiter der Abteilung *Mechanik, Strahlung und Zeit* des METAS.

# Wie Quanteneffekte für die Metrologie nutzbar gemacht werden

Im Oktober 2007 führten das Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) und das Bundesamt für Metrologie (METAS) im Center of Physics in Les Houches (Frankreich) ein wissenschaftliches Symposium durch. Ziel dieses Symposiums war, an Messtechnik interessierten Fachleuten und Studierenden einen Überblick über die neusten Entwicklungen in der Metrologie auf höchstem Niveau zu geben.

34 Wissenschaftler aus nationalen Metrologieinstituten und Universitätsprofessoren bestritten ein abwechslungsreiches Programm, 48 Personen aus allen Kontinenten nahmen daran teil.



© Marc-Henri Julien/Ecole de Physique des Houches

## CHRISTIAN ANTENER

«Die wissenschaftliche Auseinandersetzung zwischen erfahrenen Metrologen, jungen Studierenden und Physikprofessoren über die Bedeutung von Quanteneffekten und Fundamentalkonstanten in der Metrologie und bei der anstehenden Modernisierung des Internationalen Einheitensystems (SI) wurde als sehr wertvoll taxiert», sagt Dr. Beat Jeckelmann, Chef der Sektion *Elektrizität* im METAS, der das Symposium zusammen mit Dr. François Piquemal, Chef des Bereichs *Elektrische Quantenmetrologie* des LNE, durchgeführt hatte. Die Organisatoren hatten ein vielfältiges Programm zusammengestellt. Am 14 Tage dauernden Anlass wurden nicht nur wissenschaftliche Vorträge gehalten, sondern auch Rundtischgespräche durchgeführt und Postersessions abgehalten.

METAS beteiligte sich mit zwei Dozenten am Symposium. Dr. Ali Eichenberger sprach über die Ermittlung der Planckschen

- 1 Das Center of Physics wurde 1951 gegründet. Es befindet sich in Les Houches, auf 1150 m über Meer und in bezaubernder Lage mit Blick auf den Mont Blanc. Dieses Ausbildungszentrum ist mit der Universität *Joseph Fourier* und dem Nationalen Polytechnischen Institut, die beide in Grenoble stationiert sind, verbunden.

Konstante mit Hilfe der Watt-Waage und Dr. Blaise Jeanneret referierte über die Realisierung der Einheit *Volt* mit Hilfe des Josephson-Effekts.

Die beiden Teilnehmer des METAS am Symposium präsentierten je ein Poster: Dr. Hanspeter Andres zum Thema «Metrologische Aspekte der Aktivitätsmessung in gemischten Elektrolyten durch ionen-selektive Elektroden» und Dr. Alessandro Mortara zum Thema «Josephson Voltage Standard Locked Sinewaves Synthesizer».

Alle Beteiligten des METAS sind sich einig darüber, dass sich dieses Symposium positiv auf ihre Forschungs- und Entwicklungstätigkeit auswirken wird und es sehr wertvoll war, Kontakte zu Wissenschaftlern aus aller Welt zu knüpfen.

# Der Vergleich historischer Längenmasse zeigt erstaunliche Übereinstimmung

Einer von zwei Sätzen Komiteemeter und Komiteekilogramm, die Professor Johann Georg Tralles 1800 aus Paris in die Schweiz gebracht hatte, nahm der Schweizer Ferdinand Rudolf Hassler, ein Pionier der Landesvermessung und Metrologie, 1805 bei seiner Auswanderung in die Vereinigten Staaten mit. Im Rahmen einer Ausstellung im METAS zu Ehren Hasslers wurden der Schweizer und der US-amerikanische Komiteemeter verglichen. Die sehr gute Übereinstimmung der beiden historischen Längenmasse zeugt von hoher handwerklicher Fertigkeit unserer Vorfahren vor gut 200 Jahren.

## RUDOLF THALMANN

Das metrische System wurde am Ende des 18. Jahrhunderts von der französischen Nationalversammlung in die Wege geleitet. Als erstes einheitliches und bis heute gültiges Masssystem war es ganz vom Geist der französischen Revolution begründet, nämlich dem Ruf nach Gleichheit (*égalité*) und der Idee der Universalität. Sowohl die Gewichtseinheit *Kilogramm* als auch die Längeneinheit *Meter* wurden mit Hilfe unveränderlicher, universeller Messungen festgelegt: Das Kilogramm wurde der Masse von 1 dm<sup>3</sup> Wasser bei einer Temperatur von 4 °C gleichgesetzt, während der Meter als der vierzigmillionste Teil des Erdmeridians definiert wurde.

### Abenteuerliche Triangulationsvermessung

Die Messung des Erdmeridians erwies sich dann allerdings als mehrjähriges Abenteuer, bei dem die beiden Gelehrten *Delambre* und *Méchain* die Strecke zwischen Dünkirchen und Barcelona (beide liegen auf dem gleichen Meridian) mittels Triangulation gemessen hatten. In Kenntnis der geografischen Breite der beiden Städte, die mittels astronomischer Beobachtungen bestimmt worden war, konnte auf die gesamte Länge des Viertels des Erdmeridians geschlossen werden. Abgeleitet aus diesen Messungen wurden Verkörperungen aus Platin hergestellt, die im französischen Nationalarchiv aufbewahrt wurden. Diese 1799 fertig gestellten Urmasse werden mit *Mètre des Archives* und *Kilogramme des Archives* bezeichnet.

Zur Verbreitung dieser Masseinheiten wurde eine Anzahl möglichst genauer Kopien aus Stahl hergestellt. Der deutsche Gelehrte Johann Georg Tralles (1763 – 1822), der im Auftrag der Regierung der Helvetischen Republik die Einführung des metrischen Systems und die Herstellung der Urmasse beobachtet und darüber auch offiziell Bericht erstattet hatte, brachte je zwei der Kopien in die Schweiz, womit in der Schweiz – zumindest vorübergehend – das metrische System eingeführt wurde.

### Schweizer bringt 1805 einen Komiteemeter in die USA

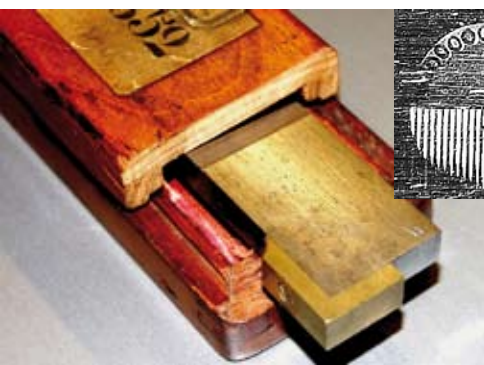
Je eine dieser Kopien, die wir Komiteemeter und Komiteekilogramm nennen, wird heute in der Ausstellung *Historisches Messwesen* des METAS gezeigt (Bild 1). Der zweite Satz wurde



1 Der Komiteemeter und das Komiteekilogramm der Schweiz aus dem Jahr 1799 sind in der Ausstellung *Historisches Messwesen* im METAS zu sehen. Diese Ausstellung ist während den Öffnungszeiten des METAS frei zugänglich.

vom Aarauer Gelehrten Ferdinand Rudolf Hassler (1770 – 1843), einem Schüler von Tralles, im Jahr 1805 in die Vereinigten Staaten von Amerika gebracht. Wie Hassler zu diesem Satz kam, lässt sich heute nicht mehr ermitteln. Er hat jedoch dazu beigetragen, das metrische System auch in den Vereinigten Staaten bekannt zu machen, oder zumindest die Beziehung zwischen dem angelsächsischen und dem metrischen Masssystem festzulegen. Die beiden nach Amerika gebrachten Komiteemasse werden heute im Museum des amerikanischen Metrologieinstitutes, dem *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, aufbewahrt.

Anlässlich der 22. Internationalen Konferenz zur Geschichte der Kartographie in Bern führten die Bundesämter für Landestopografie (swisstopo) und Metrologie (METAS) sowie das Bundesarchiv (BAR) im Juli 2007 eine Ausstellung zu Ehren Hasslers durch. Hassler, der mit der Leitung der Küstenvermessung in den USA betraut worden war, gilt als einer der Pioniere der Geodäsie in der Schweiz und den USA.



Französischer Meter,  
als Hauptgrundlage  
zur schweizerischen  
Maßordnung

MÈTRE  
Conforme à la Loi du 18 Germinal an 3  
Présenté le 4 Messidor an 7  
FAIT PAR LENOIR

2 Endfläche des Schweizer Komiteemeters mit Messingschutzkappe. Für Kalibrierungen lässt sich diese Schutzkappe entfernen. Der Schweizer Komiteemeter ist mit einer Prägemarkierung versehen (siehe Vergrößerung oben rechts), die den 10 000 000-ten Teil des Erdmeridians symbolisiert.

3 Der Schweizer Komiteemeter wird im Originalbehälter aus Holz aufbewahrt. Die Inschriften auf dem Deckel könnten unterschiedlicher nicht sein: In der Messingplakette rechts hat der Hersteller die wichtigen Angaben schön eingraviert; auf der Plakette links befindet sich eine in gut schweizerischer Bescheidenheit handschriftlich angebrachte Notiz.

### Komiteemeter nach 208 Jahren erneut verglichen

Im Rahmen dieser Ausstellung wurde ein Vergleich der historischen Komiteemeter der USA und der Schweiz durchgeführt. Weil ein Transport der kostbaren historischen Endmasse über den Atlantik nicht möglich war, wurde jeder Komiteemeter lediglich vom Eignerinstitut gemessen. Dies bedeutete keine wesentliche Einschränkung, ging es doch um einen Vergleich der Länge der Urmasse und nicht um einen Vergleich der Messfähigkeit der beiden Institute NIST und METAS, die in Schlüsselvergleichen mit viel genaueren Längennormalen bestätigt wurde.

dem Komiteemeter und dem Normal-Endmass wurde mit einem Laserinterferometer bestimmt. Zur Messung wurden die Endmasse in horizontaler Lage in den Airypunkten aufgelegt, also den Auflagepunkten, bei denen sich die Endmasse unter der Schwerkraft minimal verformen.

Die beiden Komiteemeter sind Endmasse aus Stahl. Ihre Endflächen sind mit Messingkappen geschützt, die sich aber für die Messung entfernen lassen. Die Bilder 2 und 3 zeigen Einzelheiten des Schweizer Komiteemeters.

Die Temperatur der Endmasse während der Messung lag zwischen 20.08 °C und 20.09 °C. Das Messresultat wurde unter Annahme eines für Stahl üblichen Ausdehnungskoeffizienten auf die heute für Längenmessungen geltende Bezugstemperatur von 20 °C umgerechnet. Infolge der für heutige Verhältnisse relativ schlechten Qualität der Endflächen wurde eine Messunsicherheit von ±3 µm abgeschätzt.

### Kalibrierung in der Schweiz . . .

Die Kalibrierung des Schweizer Komiteemeters erfolgte auf einer Längenmessmaschine im Vergleich mit einem interferometrisch kalibrierten Parallel-Endmass aus Stahl der Nennlänge 1 000 mm (Bild 4). Die Endflächen wurden mit Rubin-kugeltastern angetastet, der Längenunterschied zwischen

### . . . und in den USA

Die Kalibrierung des US-amerikanischen Komiteemeters im NIST erfolgte mit einem hochgenauen fehlerkorrigierten Koordinatenmessgerät, ebenfalls im Vergleich mit einem bekannten Referenzmass. Die Messbedingungen waren nominell identisch zu denen im METAS. Die Temperatur des Endmasses während der Messungen lag mit 20.008 °C sehr nahe bei der Bezugstemperatur.



4 Die Länge des Schweizer Komiteemeters wurde im Vergleich zu einem bekannten Parallel-Endmass auf einer Längenmessmaschine des METAS gemessen.

### Das metrische System

Die definitive Einführung des metrischen Systems erfolgte 1875 mit der Internationalen Meterkonvention, einem Staatsvertrag, den 17 Länder, darunter die Schweiz, unterzeichneten. Im Anschluss daran wurden neue, definitive Urmasse aus Platin-Iridium hergestellt: das Urkilogramm, das bis heute die Masse-Einheit festlegt, und der Urmeter, der bis zur Einführung einer neuen Meterdefinition 1960 die Längeneinheit festlegte.

5 Die Meterkonvention von 1875 legte den Grundstein zum Internationalen Einheitensystem (Système international d'unités, SI).

Dank der Verwendung eines Koordinatenmessgerätes war das NIST in der Lage, die Ebenheitsabweichung der Messflächen und damit auch die Abweichungsspanne des Endmasses – also den Unterschied zwischen der kleinsten und grössten Länge – zu quantifizieren. Mit diesen zusätzlichen Messungen resultierte eine im Vergleich zu METAS deutlich kleinere Messunsicherheit für das Mittenmass von  $\pm 1.6 \mu\text{m}$ .

### Erstaunliche Übereinstimmung

Die Kalibrierungen im NIST und im METAS ergaben folgende Messresultate:

Schweizer Komiteemeter:  $L = (1\,000.232\,6 \pm 0.003\,0) \text{ mm}$   
 US-amerikanischer Komiteemeter:  $L = (1\,000.233\,56 \pm 0.001\,6) \text{ mm}$

Die beiden Komiteemeter weisen somit einen Längenunterschied von  $(0.96 \pm 3.4) \mu\text{m}$  auf. Sie können innerhalb der Messunsicherheit als exakt gleich lang betrachtet werden. Die Abweichung von  $0.233 \text{ mm}$  zu  $1 \text{ m}$  ist darauf zurückzuführen, dass die Bezugstemperatur für das Längenmass bei seiner Herstellung  $0^\circ\text{C}$  betrug. Mit allen Schwierigkeiten der Feuchtigkeitskondensation, die damit verbunden waren, war es damals die einzige Temperatur, die man mit einfachen Mitteln und hoher Genauigkeit realisieren konnte.

Auch bei der Festlegung der Meterdefinition mit dem neuen Platin-Iridium-Urmeter 1889 war die Bezugstemperatur immer noch  $0^\circ\text{C}$ . Allerdings wurde damals gleichzeitig der thermische Ausdehnungskoeffizient bestimmt und die Länge des Urmeters und seiner nationalen Kopien auch bei  $20^\circ\text{C}$  angegeben. Heute müssen nach internationaler Norm sämtliche Längenmasse auf  $20^\circ\text{C}$  bezogen werden. Wenn wir für die beiden Komiteemeter einen für Stahl üblichen linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von  $11.6 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  annehmen, ergibt sich nach Korrektur der heute bestimmten Länge auf  $0^\circ\text{C}$ :

Schweizer Komiteemeter:  $L_0 = 1\,000.000\,6 \text{ mm}$   
 US-amerikanischer Komiteemeter:  $L_0 = 1\,000.001\,6 \text{ mm}$

Wenn auch die Unsicherheit dieser auf  $0^\circ\text{C}$  bezogenen Längen im Vergleich zu den bei  $20^\circ\text{C}$  gemessenen infolge der unsicheren Annahme des Ausdehnungskoeffizienten deutlich grösser ist, müssen wir der Übereinstimmung der Länge der Komiteemeter mit der heute gültigen Längeneinheit mit grossem Respekt gegenüberreten, liegen doch die vor 200 Jahren realisierten Abweichungen in der Grössenordnung der Toleranzen moderner industrieller Fertigung!



■ 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. 006)  
 C Service suisse d'étalonnage  
 S Servizio di taratura in Svizzera  
 S Swiss Calibration Service

**kunz** precision

# Étalonnages en pression de haute précision sur 14 décades

*Le laboratoire de pression de METAS est en mesure d'effectuer des étalonnages en pression de 10  $\mu$ Pa à 1 GPa. Le laboratoire est primaire sur toute sa gamme de mesure, ce qui veut dire qu'il définit lui-même son échelle de pression en partant des unités de base, kg, s, m.*

CHRISTIAN WÜTHRICH

Le laboratoire de pression effectue non seulement des étalonnages pour le raccordement des laboratoires accrédités, il est également capable de répondre de façon flexible à des demandes très variées de l'industrie. Le laboratoire est équipé de différents instruments qui permettent de couvrir toute la gamme de 14 décades.

## Manomètres à piston rotatif

Le moyen classique pour définir la pression est le manomètre à piston tournant ou balance de pression. Cet instrument de mesure a recours à un piston ajusté avec précision dans un cylindre. La pression est générée en chargeant le piston avec une masse connue. Le piston est mis en rotation afin de limiter les frottements verticaux. La valeur de la pression générée est donnée par la section effective du piston-cylindre, la valeur de la masse utilisée et le champ de pesanteur. Le fluide de travail utilisé est un gaz ou de l'huile.

La traçabilité de la section du piston-cylindre s'obtient par métrologie dimensionnelle pour les pistons de grand diamètre et par comparaison avec des piston-cylindres de section supérieure pour les pistons de petit diamètre.

Le laboratoire définit la pression de 7 kPa à 1 GPa à l'aide de manomètres à piston tournant. L'incertitude de mesure est de l'ordre de 10 ppm de la valeur mesurée au bas de la gamme mais est toujours supérieure à 0.5 Pa. Pour les pressions élevées, la déformation du piston introduit une incertitude qui peut atteindre 200 ppm de la valeur mesurée.

## Colonne de mercure

Le laboratoire est équipé d'un manomètre à colonne de mercure qui permet de générer une pression absolue ou relative comprise entre 1 kPa et 250 kPa. Le manomètre à colonne liquide est très pratique car il permet de générer n'importe quelle valeur de pression rapidement grâce à une électronique de contrôle efficace. Son incertitude de mesure est toutefois limitée par la masse volumique du mercure qui n'est pas connue avec une précision meilleure que 10 ppm et par la forte variation de la masse volumique du mercure avec la température. Le manomètre à mercure a une incertitude de mesure de l'ordre de 3 Pa.



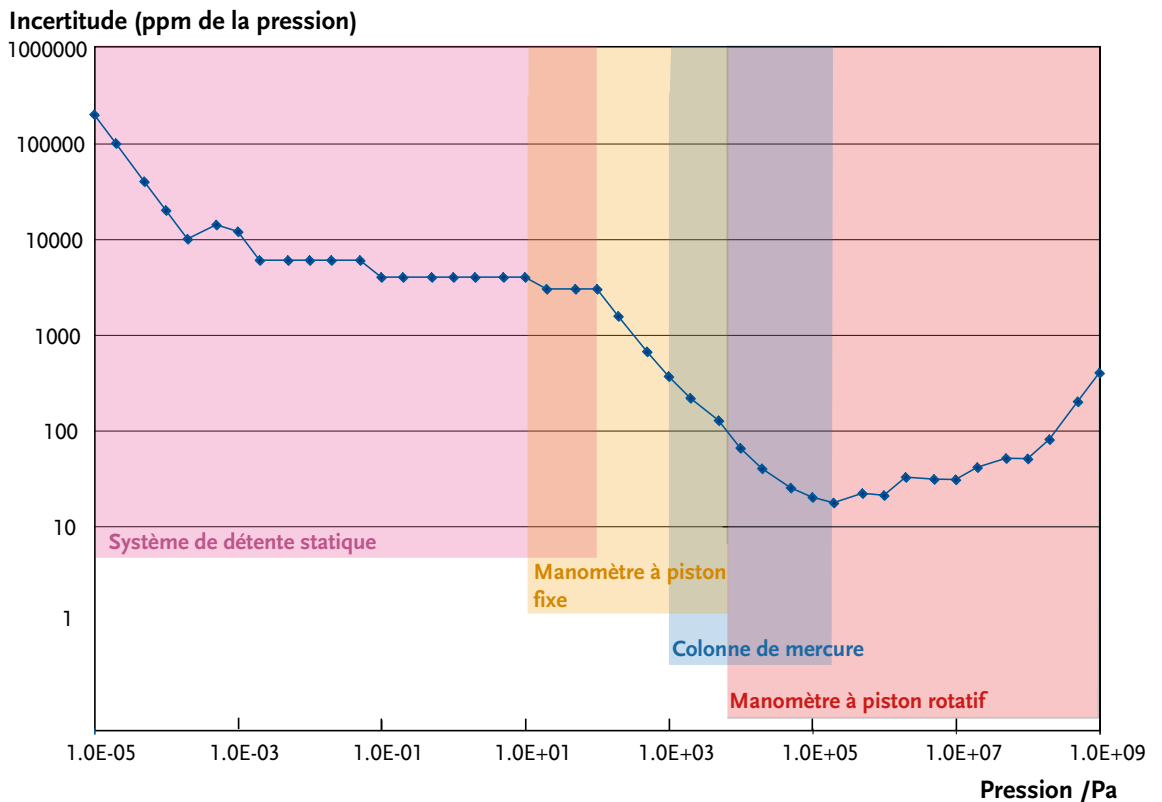
1 Système de détente statique utilisé pour la définition de la pression absolue de 10  $\mu$ Pa à 100 Pa.

## Manomètre à piston fixe

La génération de pression inférieure à 0.1 bar est rendue difficile à l'aide de piston tournant car la force nécessaire est faible et la masse du piston en fixe une limite inférieure. L'utilisation d'une cellule de pesée à compensation de force électromagnétique permet de mesurer la masse du piston au repos et de déterminer la pression à partir de l'augmentation du poids apparent. Le laboratoire est équipé d'un tel système qui lui permet de définir la pression absolue ou relative de 10 Pa à 7 kPa avec une incertitude de 0.3 Pa +100 ppm de la valeur mesurée.

## Système de détente statique

La définition de la pression en ayant recours à la mesure d'une force exercée sur une surface devient difficile au-dessous de 10 Pa car la force est petite et sa mesure manque de précision. METAS a recours à une méthode élégante afin de définir la pression entre 10  $\mu$ Pa et 10 Pa, il s'agit de la détente statique. Une pression connue, comprise entre 1 kPa et 100 kPa, est générée dans une chambre de petit volume. Le gaz contenu dans la petite chambre est alors détendu dans une chambre de grand volume qui a été préalablement évacuée. Le rapport entre les pressions est équivalent au rapport entre la somme des volumes des chambres (grande et petite) et le volume de la petite chambre. Le système en service chez METAS permet de répéter la détente plusieurs fois ce qui donne une réduction de pression sur huit ordres de grandeurs.



- 2 Incertitudes relatives des instruments de mesure de pression de METAS, représentée en fonction de la valeur de pression donnée sur 14 décades. On note que la meilleure incertitude de mesure est obtenue pour les valeurs proches de la pression atmosphérique.

### Reconnaissance internationale

Le laboratoire de pression participe régulièrement à des comparaisons internationales afin de démontrer la précision de ses possibilités de mesure. Le laboratoire est actuellement laboratoire pilote pour deux comparaisons européennes. La traçabilité sur les unités primaires qui a été mise en place dans tout le laboratoire ces cinq dernières années ainsi que les publications scientifiques ont permis au laboratoire de pression de METAS de s'affirmer comme un partenaire apprécié au niveau international.

### Possibilités d'étalonnage de haute précision

La mission primaire du laboratoire est d'assurer le raccordement des laboratoires accrédités de Suisse et d'étalonner les instruments de mesure de pression en usage à METAS pour la correction de facteurs d'influence. Le laboratoire effectue

également des étalonnages pour des entreprises ne possédant pas de laboratoire accrédité mais qui souhaitent obtenir un étalonnage de haute précision.

Dans le cadre de la métrologie légale, le laboratoire est actif pour les étalonnages de pression nécessaires pour la correction thermomanométrique dans la distribution du gaz naturel. Le laboratoire est en mesure de mettre en place aisément un système de mesure spécifique au souhait du client dans le cadre de certification de capteurs.

L'expérience de la métrologie de la pression permet au personnel du laboratoire de participer régulièrement en tant qu'expert à des audits d'accréditation en Suisse et à l'étranger. Le laboratoire est en mesure de fournir des conseils aux entreprises souhaitant mettre en place un système d'étalonnage ou de vérification.

## Drei neue Eichstellen im Jahr 2007

Das Bundesamt für Metrologie (METAS) kann für die Eichung von Messmitteln, welche die Kantone nicht vollziehen, Eichstellen ermächtigen. Zu diesen Messmitteln gehören beispielsweise die Elektrizitäts- und Gaszähler im Haushaltsbereich oder die Messgeräte zur Überwachung im Strassenverkehr. Um diese komplexen Messinstrumente zu eichen, muss die Eichstelle über eine hohe Fachkompetenz verfügen. Ebenso müssen geeignete Prüfmittel und Räumlichkeiten vorhanden sein, um den messtechnischen Anforderungen zu genügen. Die ermächtigten Eichstellen werden vom METAS überwacht. Die Ermächtigung ist auf fünf Jahre befristet und kann verlängert werden, sofern die Voraussetzungen erfüllt sind.

Eichstelle	Messmittel	Inhaber	Adresse	Ermächtigung	Erneuerung
Laboratoire de vérification	Instruments de mesure	Propriétaire	Adresse	Habilitation	Renouvellement
E05	Elektrizitätszähler Compteurs d'électricité	BKW FMB Energie AG	Dr. Schneider-Strasse 16 2560 Nidau		●
E18	Elektrizitätszähler Compteurs d'électricité	Groupe E SA	Les Vernets, CP 2035 Corcelles	●	
E30	Elektrizitätszähler Compteurs d'électricité	Stadtwerk Winterthur	Untere Vogelsangstrasse 11 8402 Winterthur		●
E32	Elektrizitätszähler Compteurs d'électricité	Energie Service Biel (ESB)	Gottstattstrasse 4 2504 Biel		●
P14	Strassenverkehrs- messgeräte Instruments de mesure du trafic routier	ttm-swiss AG	Giessereistrasse 1 8601 Wetzikon	●	
T10	Grosse Wärmezähler Grands compteurs d'énergie thermique	LPTerm	Rue du Nord 3 1400 Yverdons-les-Bains	●	

Zurzeit sind in der Schweiz 78 Eichstellen tätig. Darin sind drei neue Eichstellen enthalten, die im Jahr 2007 ermächtigt wurden. Vier bestehende Ermächtigungen wurden zudem erneuert.

### REZENSION

## Daten und Zitate aus der Geschichte des Messens

In der «Digitalen Bibliothek» ist vor kurzem die «Universalgeschichte des Messens» erschienen. Sie enthält zwei Werke zur Geschichte des Messens, die ursprünglich als Bücher publiziert worden sind.

### JÜRGEN NIEDERHAUSER

Neue Medien, die auf neuen Technologien beruhen, bringen informationstechnische Veränderungen oder gar Umwälzungen mit sich. Das gilt etwa für die elektronische Textverarbeitung, für digitale Speichermedien oder für das Internet. Schon vor einigen Jahren wurde uns die digitale Revolution prophezeit, die dazu führe, dass CD-ROM und Internet den Tod von Buch und Zeitungen bedeuteten – früher oder später werde nur noch am Bildschirm gelesen. Bis jetzt haben sich aber gedruckte Medien durchaus behauptet – und das aus

gutem Grund. Man denke nur daran, wie unkompliziert ein Buch genutzt werden kann und wie einfach es ist, ein Buch über lange Zeit zugänglich und nutzbar zu halten.

Neue Medien wirken sich selbstverständlich auf unsere Mediennutzung aus. Sie führen dazu, dass bestehende Medien anders genutzt werden, ohne diese überflüssig zu machen und vollständig zu verdrängen. Mit Hilfe neuer Medien können sogar alte Medien neu erschlossen und zusätzliche Nut-

zungen ermöglicht werden, wenn die Präsentation alter Medien auf neuen Medien sorgfältig und gut gemacht ist.

### Alte Werke zugänglich gemacht

Seit gut zehn Jahren gibt ein Berliner Verlag die «Digitale Bibliothek» heraus. Es handelt sich dabei um Digitalisierungen von älteren Werkausgaben sowie kultur- oder wissenschaftsgeschichtlich wichtigen Nachschlagewerken – Sachlexika und Wörterbücher – auf CD-ROM oder DVD. Vielfach handelt es sich um ältere, wesentliche Werke, die in gedruckter Form längst nicht mehr erhältlich sind und die auch niemand mehr nachdrucken wird, die aber für kultur-, geistes- oder wissenschaftsgeschichtlich Interessierte als Quellen von Bedeutung sind. Weiter finden sich in der «Digitalen Bibliothek» auch aktuellere Nachschlagewerke von einem Lexikon der Antike über ein Opernlexikon oder eine Enzyklopädie der DDR bis zu einem Lexikon der Naturwissenschaftler oder einem Wörterbuch Physik.

Vor kurzem ist in dieser Digitalen Bibliothek eine CD-ROM erschienen mit dem Titel «Universalgeschichte des Messens» [1]. Sie enthält in elektronischer Form zwei Werke zur Geschichte des Messens, die noch in gedruckter Form im Buchhandel lieferbar sind [2, 3].

### Daten zur Geschichte des Messens

Eines der Werke ist eine Weltchronik des Messens. Genauer gesagt, ist es eine Universalgeschichte von Mass, Zahl, Geld und Gewicht in Form einer Sammlung von Daten. Die Chronik ist nach historischen Epochen in Kapitel eingeteilt von den steinzeitlichen frühen Kulturen bis zum heutigen informationstechnischen Zeitalter. Jedes Kapitel enthält neben Daten zu Messen, Mass und Geld eine kurze Einleitung. Der Verfasser ist Wirtschaftswissenschaftler und ihm ist der Zusammenhang zwischen technischem Messen, wissenschaftlichem Messen und dem, was er «soziales Messen» nennt, wesentlich. Unter sozialem Messen wird die Entwicklung von Zahlungssystemen, Geld, Währung, Steuern, Finanz- und Versicherungssystemen, aber auch Zeitrechnung verstanden.

Man kann einzelne Zeitepochen oder Jahre anklicken, um zu erfahren, was sich zu einer bestimmten Zeit im Bereich des Messens getan hat. Dank der Suchfunktion kann man sich beispielsweise sofort die wichtigen Stationen der Entwicklung der Balkenwaage anzeigen lassen. Sie wurde vor rund 4700 Jahren in Ägypten entwickelt. Ihre Erfindung könnte wahrscheinlich angeregt worden sein durch eine Stange zum beidseitigen Tragen von Lasten auf den Schultern. Bis etwa 1550 vor unserer Zeitrechnung müssen Balkenwaagen aus Holz gebaut worden sein. Deshalb sind sie uns vorher nur von Reliefdarstellungen, Inschriften und Grabgemälden überliefert.

Genauso kann man sich mit der Suchfunktion sofort darüber informieren, in welchen Werken Leibniz oder Newton sich mit Fragen der Masse oder des Messens befasst haben. Johann Georg Tralles ist übrigens nur mit einem Eintrag erwähnt, und zwar als Erfinder des Volum-Alkoholometers 1812. Ferdinand Rudolf Hassler ist überhaupt nicht zu finden. Man

stösst auch auf wunderbare Beispiele überflüssigen Wissens. Wer hätte gedacht, dass 1984 215 Millionen Anrufe bei der Zeitanzeige der Post in der BRD zu verzeichnen waren – ein Meilenstein der Geschichte des Messen und der Masse.

### Zitate

Das zweite, auf der CD-ROM enthaltene Werk ist eine Sammlung von Zitaten zum Messen. Darin finden sich Gedanken aller Art zur Kunst und Anwendung des Messens, zu Mass und Zahl aus mythologischen, religiösen, philosophischen, rechtlichen, wirtschaftlichen, naturwissenschaftlichen, mathematischen und technischen Quellen. Eine solche Zitatensammlung lässt sich auf einer CD-ROM besser erschliessen als in Buchform: Sofort kann man in Erfahrung bringen, ob der Umgang mit Mass und Gewicht nicht nur in der Bibel thematisiert wird («Ihr sollt nicht unrecht handeln im Gericht, mit der Elle, mit Gewicht, mit Mass. Ihr sollt richtige Waagen, richtige Gewichtsteine, richtige Scheffel und rechtes Mass haben.» Drittes Buch Mose 19,35), sondern auch in anderen heiligen Schriften, etwa dem Koran. Das ist übrigens tatsächlich der Fall, unter anderem in der 17. Sure 37 «Und gebet volles Mass, wenn ihr messet, und wäget mit richtiger Waage».

Im Nu hat man das berühmte Zitat von Lord Kelvin (William Thompson) über das Messen gefunden: «Wenn ihr das messen könnt, wovon ihr sprecht, und es numerisch auszudrücken vermögt, dann wisst ihr etwas über den Gegenstand, aber wenn ihr ihn nicht in Zahlen ausdrücken könnt, ist euer Wissen arm und unzureichend.»

Aus wissenschafts- und technikhistorischer Sicht ist allerdings zu bedauern, dass die Zitate nicht mit genauen Verweisen versehen sind. Vermerkt sind Autor, Werk und Zeit, oft sogar nur der Autor. Das ist etwa beim vorhin angeführten Zitat von Lord Kelvin der Fall – und im Quellenverzeichnis findet sich nur der knappe Eintrag «Kelvin, Lord. In: Great Treasury of Western Thought».

Zudem sind die Zitate nur in deutscher Übersetzung wiedergegeben. Es findet sich übrigens auch das aus wissenschaftsgeschichtlicher Sicht mit Vorsicht zu geniessende Zitat von Galilei «Man muss alles messen, was messbar ist ...» (vgl. dazu [4]).

Aber das sind kritische Bemerkungen am Rande. Die in der «Digitalen Bibliothek» erschienene «Universalgeschichte des Messens» ist eine reichhaltige Fundgrube für diejenigen, die sich für die Geschichte des Messens, der Masse, der Metrologie sowie auch des Geldwesens interessieren.

### Referenzen

- [1] Haustein Heinz-Dieter, Universalgeschichte des Messens, Digitale Bibliothek 164, Berlin, 2007.
- [2] Haustein Heinz-Dieter, Weltchronik des Messens, Universalgeschichte von Mass und Zahl, Geld und Gewicht, Berlin/New York, 2001.
- [3] Haustein Heinz-Dieter, Quellen der Messkunst, Zu Mass und Zahl, Geld und Gewicht, Berlin/New York, 2004.
- [4] Niederhauser Jürg, «Alles, was messbar ist ...», METinfo, Vol. 11, Nr. 3, S. 26-27, 2004.



our solution + you're in control

**Möchten Sie Ihre Prozesse optimieren?**

Setzen Sie eine integrierte, massgeschneiderte Energiemanagementlösung ein, die auf langjähriger Kompetenz und Erfahrung basiert.

Als bewährter Partner haben wir weltweit über 300 Millionen Zähler verkauft und über 1000 Advanced Metering Management Lösungen installiert. Gute Gründe, um sich auf uns zu verlassen – so können Sie Ihre Dienste verbessern und Ihre Ressourcen effektiver einsetzen. manage energy better.

[www.landisgyr.ch](http://www.landisgyr.ch)

Landis+  
Gyr+

manage energy better

