



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS

METinfo

1/2021

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



Distribution de fréquences à haute exactitude par réseau à fibres optiques

Simultan Masse und Volumen bei Gewichten bestimmen

The future of metrology – digitalization of metrology in METAS

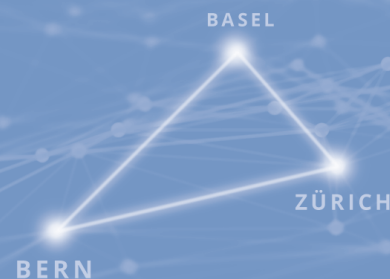
Eine Spitzengeschichte

Schritt für Schritt zur Spitze | Pas à pas vers la pointe

Bewegungs- und Präsenzsensoren auf dem Prüfstand

Luftqualitätssensoren kalibrieren, Algorithmen trainieren

Das METAS analysiert Desinfektionsmittel



Impressum

METInfo

Zeitschrift für Metrologie, Vol. 28, 1/2021
Journal de métrologie, Vol. 28, 1/2021
Rivista di metrologia, Vol. 28, 1/2021
Journal of Metrology, Vol. 28, 1/2021
14.05.2021

Herausgeber/Éditeur/Editore/Publisher

Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS
Institut fédéral de métrologie METAS
Istituto federale di metrologia METAS
Federal Institute of Metrology METAS
Lindenweg 50, 3003 Bern-Wabern, Schweiz
Tel. +41 58 387 01 11, Fax +41 58 387 02 10
www.metas.ch

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

David Lehmann
Tel. +41 58 387 04 89
david.lehmann@metas.ch

Redaktion/Rédaction/Redazione/Editorial Board

Gregor Dudle
Hugo Lehmann
Jürg Niederhauser
Céline Pascale
Ulrich Schneider

Bildnachweis/Photos/Fonte delle immagini/Pictures

Claudio Ratti, Markus Thönen, David Lehmann, Rubi Bill, Fabio Rinderer
METAS, 3003 Bern-Wabern

Hinweis/Remarque/Nota/Note

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

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

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

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

Copyright

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

Administration

ISSN 1660-4733
ISSN 1660-6094 (Online-Edition)
24/04 3800 860376853/2



Hochgenaue Frequenzen mit Glasfasern übermitteln.
Distribuer des fréquences à haute exactitude par fibre optique.
Trasmettere frequenze ad alta precisione con le fibre ottiche.
Transmitting high-precision frequencies using optical fibres.





Simultan Masse und Volumen bestimmen.
Calculer simultanément la masse et le volume des poids.
Determinare simultaneamente massa e volume per i pesi.
Determining mass and volume simultaneously.

4

Fréquences à haute exactitude
Distribution de fréquences à haute exactitude par réseau à fibres optiques

8

Masse und Volumen
Simultan Masse und Volumen bei Gewichten bestimmen

13

Digitalization
The future of metrology – digitalization of metrology in METAS

16

Nanoelektrische Metrologie
Eine Spitzengeschichte

20

Koaxiale Spitzen | Pointe Coaxiale
Schritt für Schritt zur Spitze | Pas à pas vers la pointe

22/23

Infografik | Infographie

24

sensLAB
Bewegungs- und Präsenzsensoren auf dem Prüfstand

29

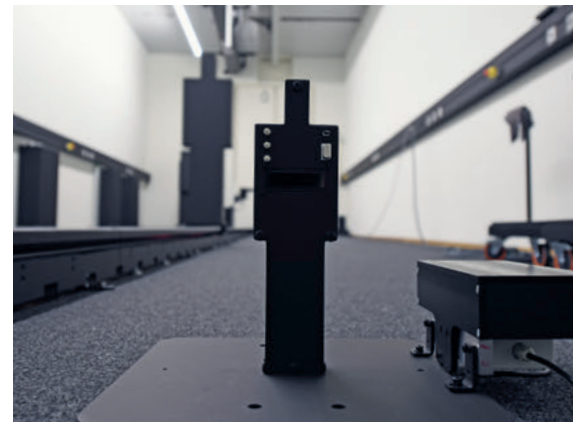
Low-Cost-Sensoren
Luftqualitätssensoren kalibrieren, Algorithmen trainieren

32

Ethanol
Das METAS analysiert Desinfektionsmittel

35

Veranstaltungen/Manifestation
Weiterbildungskurse 2021/Cours 2021



sensLAB: Unabhängige Sensorprüfung.
sensLAB: Contrôle indépendant des capteurs.
sensLAB: Controllo indipendente di sensori.
sensLAB: Independent sensor testing.



Messnetze mit Sensoren.
Réseaux de mesure avec capteurs.
Reti di misurazione con sensori.
Monitoring networks with sensors.

Liebe Leserin, lieber Leser

Die Pandemiesituation hat die Diskussion über eine nachhaltige Entwicklung weiter intensiviert. Die vorherrschenden Umstände haben vielen Menschen das Bewusstsein für eine sinnvolle Nutzung der natürlichen Ressourcen geschärft und ihnen den Wert einer intakten Umwelt und Natur wieder vor Augen geführt. Ziele der nachhaltigen Entwicklung wie Förderung der Gesundheit, Massnahmen zum Klimaschutz, Ernährungssicherheit oder die Unterstützung von Innovationen bilden im Moment oft den Kern von ausführlichen Debatten.

Durch die Bereitstellung der nötigen metrologischen Infrastruktur und Kompetenz sowie durch die Sicherstellung von gesetzeskonformen Messungen zum Schutz von Mensch und Umwelt leistet die Metrologie im Allgemeinen und das METAS im Besonderen seinen aktiven Beitrag zur Erreichung der Ziele zur nachhaltigen Entwicklung.

In der vorliegenden Ausgabe wird aufgezeigt, wie unsere Forschungsarbeit die Überwachung der Luftqualität durch Low-costsensoren dabei unterstützt, noch genauere mathematische Vorhersagemodelle zu erstellen.

In einem anderen Zusammenhang erfahren Sie, wie Bewegungssensoren ganze Beleuchtungssysteme unterstützen und welches Verfahren von unseren Wissenschaftlern entwickelt wurde, um die Qualität dieser Bewegungsmelder zu prüfen und damit zu einer energieeffizienten Steuerung beizutragen.

Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln ist in Bezug auf Gesundheit und Ernährung für jede Gesellschaft von grosser Bedeutung. Wir illustrieren Ihnen anschaulich in diesem Heft, wie das METAS dabei mithilft, dass wir weiterhin in den Genuss von sicheren Lebensmitteln kommen können.

Diese Ausgabe soll Ihnen näherbringen, wie die Forschung und Innovation am METAS dazu beitragen, die drängenden Herausforderungen für eine nachhaltige Entwicklung zu meistern. Ich wünsche Ihnen viel Spass bei der Lektüre.

Chère lectrice, cher lecteur,

La pandémie de coronavirus n'a fait qu'intensifier le débat sur le développement durable, cette situation ayant sensibilisé de nombreuses personnes à une utilisation pertinente des ressources naturelles. De plus, elle leur a rappelé la valeur d'un environnement et d'une nature préservés. Les objectifs de développement durable, comme la promotion de la santé, les mesures de protection du climat, la sécurité alimentaire, ou le soutien à l'innovation sont, à l'heure actuelle, souvent au cœur de profonds débats.

La métrologie en général, et METAS en particulier, contribuent activement à l'atteinte des objectifs de développement durable, et ce, grâce à la mise à disposition de l'infrastructure et des compétences métrologiques nécessaires et à la garantie de mesures conformes à la loi, destinées à la protection des personnes et de l'environnement.

Dans la présente édition, vous découvrirez la manière dont notre travail de recherche contribue à la surveillance de la qualité de l'air, en établissant des modèles de prévision mathématiques encore plus exacts grâce à des capteurs à faible coût.

Dans un autre contexte, vous apprendrez comment les détecteurs de mouvements contrôlent des systèmes d'éclairage entiers et quel processus a été développé par nos scientifiques pour tester la qualité de ces détecteurs de mouvements et contribuer ainsi à un contrôle efficace de l'énergie.

La qualité et la sécurité des denrées alimentaires revêtent une grande importance en matière de santé et de nutrition pour chaque société. Dans ce METinfo, nous illustrons la manière dont METAS contribue au fait que nous pouvons continuer à savourer des denrées alimentaires en toute sécurité.

Cette édition doit vous permettre de mieux comprendre la manière dont les travaux de recherche et d'innovation poursuivis à METAS contribuent à relever les défis urgents liés au développement durable. Je vous souhaite une bonne lecture!



Cara lettrice, caro lettore

La situazione pandemica ha ulteriormente intensificato il dibattito sullo sviluppo sostenibile. Le circostanze prevalenti hanno reso molte persone più consapevoli della necessità di usare saggiamente le risorse naturali e hanno mostrato loro nuovamente il valore di un ambiente e di una natura intatti. Gli obiettivi di sviluppo sostenibile, quali la promozione della salute, le misure per la protezione del clima, la sicurezza alimentare o il sostegno all'innovazione, sono in questo momento spesso al centro di dibattiti approfonditi.

Fornendo l'infrastruttura metrologica e la competenza necessarie e garantendo misurazioni conformi alla legge per la protezione delle persone e dell'ambiente, la metrologia in generale e il METAS in particolare contribuiscono attivamente al raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile.

In questo numero mostriamo come la nostra ricerca supporti il monitoraggio della qualità dell'aria utilizzando sensori a basso costo per creare modelli predittivi matematici ancora più accurati.

In un altro contesto, imparerete come i sensori di movimento supportano interi sistemi di illuminazione e quale procedura è stata sviluppata dai nostri scienziati per testare la qualità di questi rilevatori di movimento e contribuire così a un controllo efficiente dal punto di vista energetico.

La qualità e la sicurezza degli alimenti sono di grande importanza per ogni società in termini di salute e nutrizione. In questo opuscolo illustriamo come il METAS sta aiutando a garantire che possiamo continuare a godere di alimenti sicuri.

Questo numero vuole mostrarle come presso il METAS la ricerca e l'innovazione contribuiscono a far fronte alle sfide urgenti dello sviluppo sostenibile. Le auguro una buona lettura.

Dear Reader,

The pandemic situation has further intensified the discussion regarding sustainable development. The prevailing circumstances have made many people more aware of the need to use natural resources wisely and once again demonstrated to them the value of an intact environment and nature. The sustainable development goals such as the promotion of good health, climate protection measures, food security and support for innovation are often forming the core of extensive debates at the moment.

By providing the required metrological infrastructure and expertise as well as by ensuring legally compliant measurements to protect human beings and the environment, metrology in general and METAS in particular are making an active contribution towards achieving the sustainable development goals.

In this issue, we will show you how our research work is supporting the monitoring of air quality through low-cost sensors to create even more accurate mathematical forecast models.

In a different context, you will learn how motion sensors are supporting entire lighting systems and which procedure has been developed by our scientists to test the quality of these motion detectors and thus to contribute to energy-efficient management.

The quality and security of foodstuffs is of major significance for all societies with regard to health and nutrition. In this magazine, we explain in detail how METAS helps to ensure that we can continue to enjoy secure foodstuffs.

This issue aims to give you an idea of how research and innovation at METAS are helping with the efforts in dealing with the pressing challenges for sustainable development. I hope you enjoy reading this issue.

Dr. Bob Joseph Mathew
Abteilungsleiter Gesetzliche Metrologie und Vizedirektor /
Chef de division Métrologie légale et Sous-directeur /
Capo divisione Metrologia legale e Sotto-direttore /
Head of Legal Metrology Division and Vice-Director

Distribution de fréquences à haute exactitude par réseau à fibres optiques

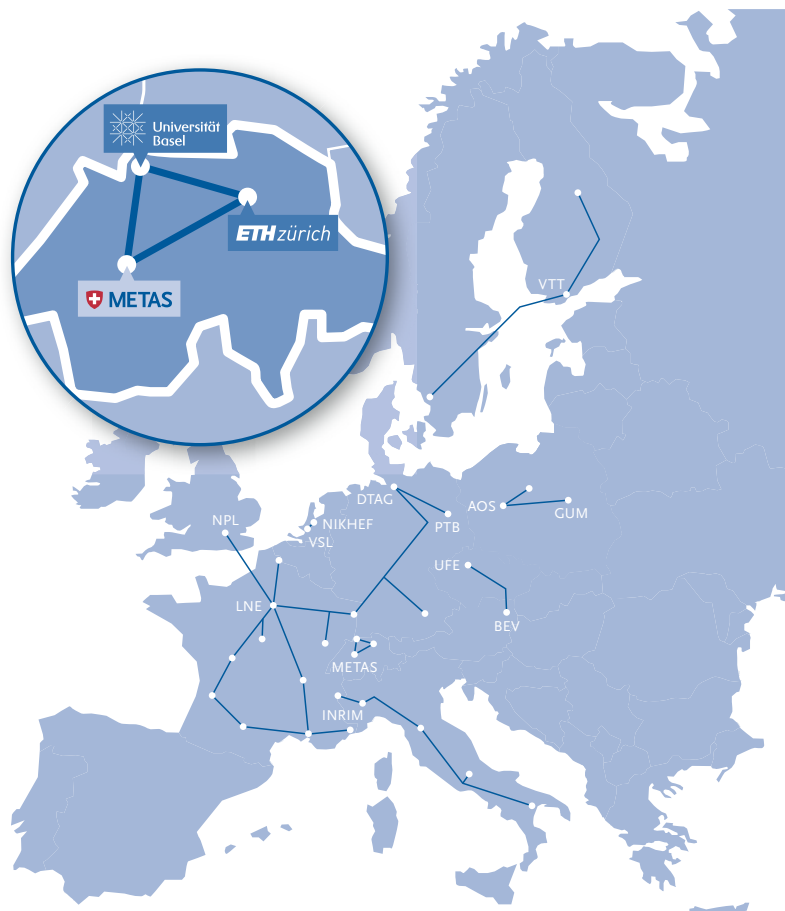
METAS a mis en place avec l'Université de Bâle, l'ETH Zurich et SWITCH un réseau pour distribuer par fibre optique des fréquences de référence à très grande exactitude. Il permet à des scientifiques de mener des travaux de physique fondamentale à Bâle et à Zurich et permet à la Suisse d'entrer dans le groupe restreint des pays européens qui contribuent au développement de ces nouvelles technologies prometteuses.

DANIEL SARAGA

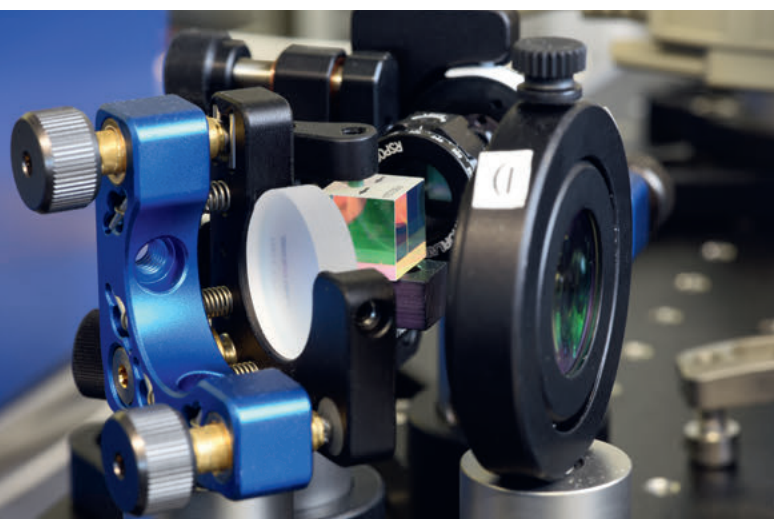
La seconde occupe une place centrale au sein du Système international des unités SI, car elle intervient dans la définition de nombreuses autres grandeurs fondamentales. Elle est définie par la fréquence d'une transition électronique hyperfine d'un atome de césium, mesurée par des horloges atomiques dont la précision atteint la 16^e décimale, soit moins d'une seconde d'écart sur 30 millions d'années. Certaines expériences scientifiques exigent une telle exactitude, par exemple étudier des phénomènes atomiques et moléculaires fondamentaux et confirmer – ou infirmer – des théories telles que l'invariance de certaines constantes fondamentales. L'étalonnage des systèmes de mesure nécessaires à ces expériences exige de disposer d'une fréquence de référence à très grande exactitude. Le transport de fréquences optiques par fibre optique est un moyen d'atteindre cet objectif.

Précision cent fois plus grande

La distribution d'une fréquence de référence ultraprecise constitue l'objectif d'un projet interdisciplinaire qui rassemble des équipes de METAS, de l'Université de Bâle, de l'ETH Zurich et de SWITCH, et financé par le programme Sinergia du Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS). Le réseau à fibre optique récemment mis en service entre Berne, Bâle et Zurich permet de distribuer une fréquence op-



2: Une réseau européen pour comparaison et dissémination de fréquences par fibres optiques entre les différents laboratoires nationaux de métrologie est en cours d'établissement. La Suisse vient de franchir un premier pas dans ce sens dans le cadre de ce projet.



1: La réalisation et la dissémination de fréquences optiques à grande exactitude requiert la mise en place de systèmes optiques complexes.

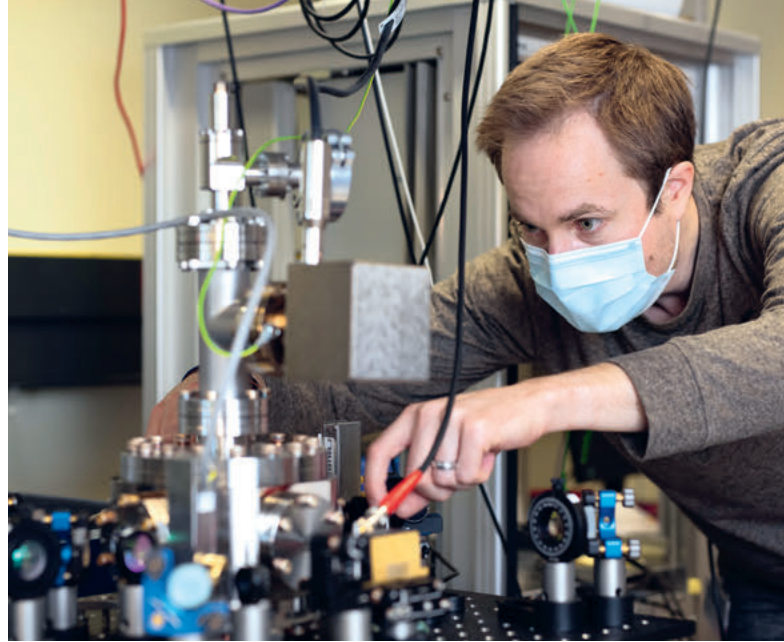
tique de référence aux équipes de recherche bâloises et zuri-choises. En octobre 2020, l'équipe de Stefan Willitsch, professeur au Département de chimie de l'Université de Bâle a ainsi déjà pu réaliser des premières expériences étalonnées par le signal envoyé par METAS, avec une précision une centaine de fois plus grande que précédemment. Cette étape correspond au calendrier du projet, qui va de 2019 à 2022, explique Jacques Morel, chef du laboratoire Photonique, temps et fréquence à METAS: «A mi-chemin, nous avons déjà un système stable qui fonctionne très bien. Durant la seconde moitié du projet, nous travaillerons à l'améliorer encore, notamment pour le rendre plus résistant aux perturbations qui affectent inévitablement le réseau. Les groupes de recherches s'attelleront à réaliser les expériences rendues possibles par le réseau.»

Des fibres optiques classiques

Le système mis en place par METAS et ses partenaires utilise des fibres optiques standards. Chaque fibre peut transmettre simultanément un grand nombre de canaux en multiplexage de fréquences; le signal de référence occupe l'un d'eux, choisi de telle manière à ne pas perturber le trafic de données circulant en parallèle dans les autres canaux. Le projet utilise le réseau de SWITCH, la fondation qui gère entre autres des infrastructures de réseau informatique pour les hautes écoles et les institutions de recherche helvétiques. «Louer une fibre optique chez un fournisseur télécom serait trop onéreux et installer la nôtre serait hors de prix», note Jacques Morel. Le réseau de SWITCH fournit une structure idéale pour la distribution de fréquences de références, par exemple aux instituts de recherche en Suisse.

Pour garantir une fréquence très stable, le dispositif doit être en mesure de compenser les inévitables perturbations subies par le signal. Les vibrations produites par un train passant à proximité de la fibre optique ou une variation de la température du câble changent ses propriétés physiques, notamment sa longueur et son indice de réfraction. Cela modifie la durée de propagation de l'onde transmise et rajoute ainsi du bruit à la fréquence transmise.

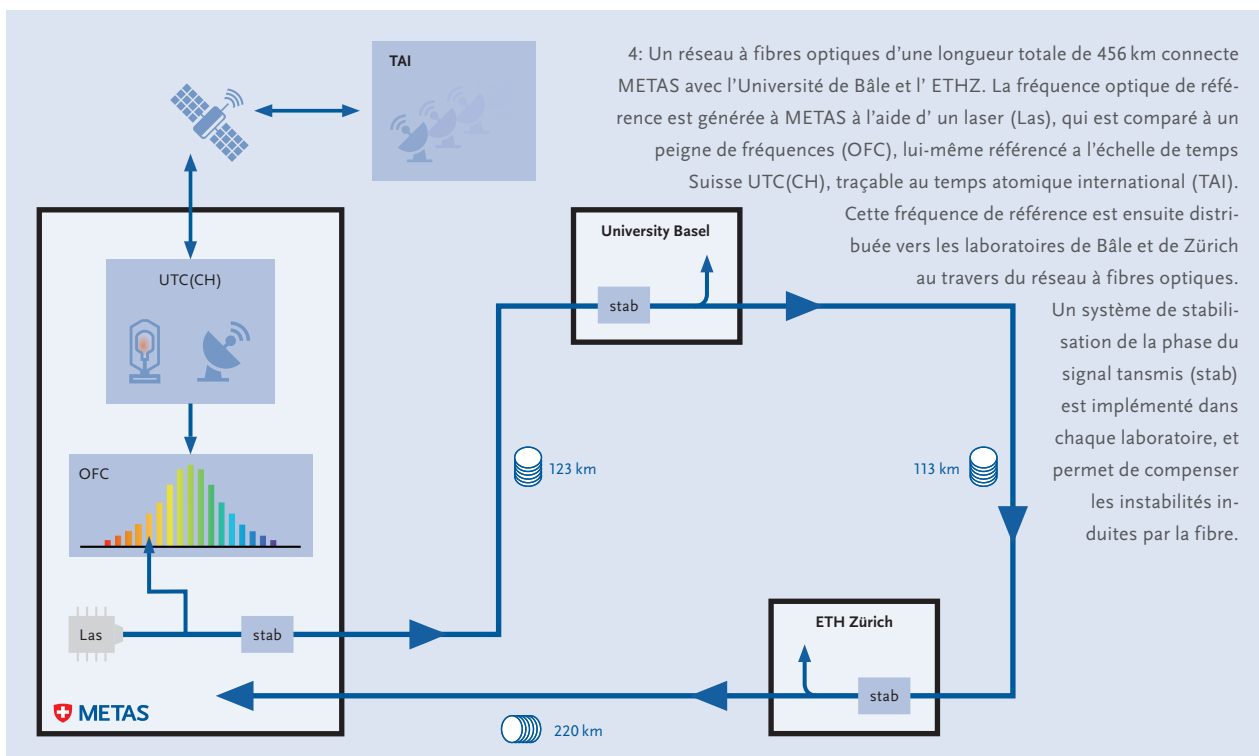
Cette perturbation est compensée par le système: une fois arrivé à Bâle ou à Zurich, le signal est réfléchi partiellement par un miroir et réenvoyé à METAS, explique Dominik Husmann, qui a mis en place ce dispositif. Un instrument mesure la différence de phase des signaux transmis et réfléchis et la compense automatiquement en ajustant la fréquence optique du signal. Le signal de référence est généré par un laser semi-



3: Le système installé à METAS génère une fréquence optique ultra-stable, et référencée à la réalisation de la seconde, et la transmet au travers d'un lien à fibre optique stabilisé en phase, jusqu'à l'université de Bâle, ainsi qu'à l'ETHZ.

conducteur. Sa largeur spectrale est minimisée par un asservissement à une cavité optique à forte réflectivité et maintenue sous vide. Sa fréquence, encore inconnue, est déterminée à l'aide d'un système permettant une comparaison à la réalisation de la seconde, et appelé peigne de fréquences optiques.

Un tel peigne de fréquences consiste en un laser pulsé, générant un grand nombre de fréquences discrètes, toutes multiples d'une fréquence de base, à l'instar des harmoniques d'une note fondamentale en musique. Chacune d'elles est connue avec une très grande exactitude, grâce à l'asservissement du peigne de fréquences à une horloge atomique de METAS participant à la réalisation du Temps Universel Coor-



donné (UTC). Les deux faisceaux lasers sont superposés et les interférences du premier signal avec la fréquence du peigne la plus proche permettent de déterminer avec une très grande exactitude la fréquence optique du signal transmis sur le réseau, sa valeur numérique étant communiquée en parallèle aux usagers. Le dispositif décale ainsi la fréquence de référence générée par l'horloge atomique du domaine des micro-ondes (soit dans les GHz) au domaine optique (autour de 190 THz). C'est ce qui permet de la transmettre par fibre optique. Le signal de référence est délivré en continu aux équipes de Bâle et Zurich. Celles-ci peuvent l'utiliser pour étalonner leurs instruments de mesure avec une exactitude d'autant plus grande que la mesure du signal de référence est longue.

Choisir la bonne longueur d'onde

Le réseau européen utilise des signaux ayant une longueur de 1542 nanomètres (ou une fréquence de 194,4 THz) se trouvant au centre de la bande de fréquence standard utilisée par les opérateurs télécom pour transmettre du contenu, comme le trafic internet et les emails. «C'est la fréquence optimale pour les propriétés physiques des fibres optiques utilisées», explique Dominik Husmann. «Son désavantage est de générer le risque que le signal métrologique – une onde à une seule fréquence – ne perturbe les informations transmises sur les bandes avoisinantes.»

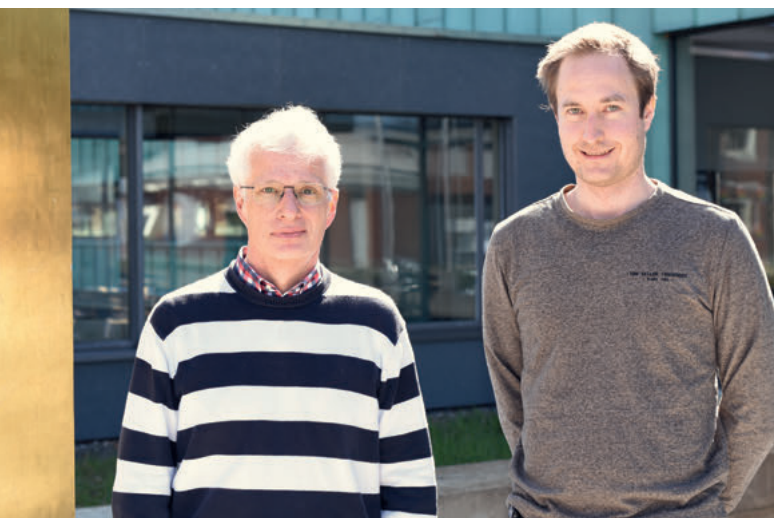
C'est une des raisons pour lesquelles le réseau suisse a opté pour une autre longueur d'onde, 1572 nm, qui est habituellement utilisée uniquement pour le monitoring des réseaux. «Ce choix réduit fortement le risque des perturbations, note Jacques Morel. Il facilite l'intégration de notre système dans le réseau de fibres optiques existant, et peut diminuer les coûts de location. C'est la première fois qu'une fréquence de référence est transmise par une fibre optique à une longueur d'onde qui la découple autant des canaux de transmission de contenu. Cette démonstration pourrait finir par convaincre quelques collègues internationaux de se rallier à notre choix.»

Le futur de la métrologie

Ce premier réseau métrologique suisse s'inscrit dans deux grandes tendances en métrologie, poursuit le physicien. La première est de mettre en place des systèmes permettant de comparer différents signaux générés par des instituts de métrologie indépendants de manière toujours plus performante, ce qui est important pour la réalisation des unités du système international SI, notamment pour la seconde.

La deuxième est une évolution des horloges atomiques utilisées pour la définition de la seconde. Aujourd'hui, les signaux de référence qu'elles génèrent – à l'instar de la transition hyperfine du césium utilisée dans le SI – appartiennent au domaine de fréquences des micro-ondes (GHz). Cela limite la précision qu'elles peuvent atteindre. C'est pourquoi de nombreux laboratoires travaillent sur des horloges atomiques qui fonctionnent dans le domaine optique (THz). Elles permettront d'augmenter la précision de deux ordres de grandeurs – en passant de la 16^e à la 18^e décimale.

Les méthodes classiques utilisant les réseaux satellitaires ne permettront pas de comparer à l'international ces horloges optiques dans des temps de mesure raisonnables, note Jacques Morel. Un réseau à fibre optique sera donc nécessaire. «L'expérience que nous faisons aujourd'hui avec notre réseau entre Berne, Bâle et Zurich nous positionne bien pour faire face de manière optimale aux futurs défis de la métrologie des fréquences.»



Contact:

Dr Jacques Morel (à gauche)
 Chef du Laboratoire Photonique, temps et fréquence
 jacques.morel@metas.ch
 +41 58 387 03 50

Dr Dominik Husmann (à droite)
 Collaborateur scientifique
 dominik.husmann@metas.ch

Hochgenaue Frequenzen mit Glasfasern übermitteln

Die Verbreitung einer hochgenauen optischen Referenzfrequenz ist das Ziel eines interdisziplinären Projekts, das durch den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung unterstützt wird. Das kürzlich in Betrieb genommene Glasfasernetz, zwischen dem METAS in Bern, der Universität Basel und der ETH Zürich, verbreitet die Referenzfrequenz mit einer hundertfach höheren Genauigkeit als bisher. Die verwendeten optischen Glasfasern sind Teil des Forschungs- und Bildungsnetzwerkes, welches von SWITCH betrieben wird.

Herzstück dieser neuen Verbindung sind zwei im METAS stationierte hochspezialisierte Laser. Der erste generiert die optische Frequenz für die Übertragung in der Glasfaser, der zweite ist ein sogenannter «Frequenzkamm». Dieser ermöglicht die genaue und rückführbare Messung der optischen Frequenz des ersten Lasers. Dieser Frequenzkamm ist mit der koordinierten Weltzeit UTC referenziert, und damit rückführbar auf die Realisierung der SI-Einheit Sekunde.

Dank einer aktiven Stabilisierung des Glasfasernetzwerkes ist die sehr genaue Übertragung zu den Empfängerlabors sichergestellt. Die Messgenauigkeit für die Anwender wird dadurch massiv verbessert und die Untersuchung von neuen fundamentalen physikalischen Phänomene ermöglicht.

Dieses Projekt ist in Übereinstimmung mit den heutigen Trends in der Metrologie für die Zeit und Frequenz. Einerseits soll eine Infrastruktur aufgebaut werden, mit denen sich hochpräzise Signale zwischen Metrologie- und Forschungsinstituten vergleichen lassen. Andererseits ermöglicht es eine Weiterentwicklung der optischen Atomuhren, die für die zukünftige Neudefinition der Sekunde verwendet werden.

Trasmettere frequenze ad alta precisione con le fibre ottiche

La diffusione di una frequenza di riferimento ottica di alta precisione è l'obiettivo di un progetto interdisciplinare sostenuto dal Fondo Nazionale Svizzero. La rete in fibra ottica recentemente messa in funzione tra il METAS a Berna, l'Università di Basilea e l'ETH di Zurigo trasmette la frequenza di riferimento con una precisione cento volte superiore rispetto a prima. Le fibre ottiche utilizzate fanno parte della rete di ricerca e formazione gestita da SWITCH.

Al centro di questo nuovo collegamento ci sono due laser altamente specializzati stazionati nel METAS. Il primo genera la frequenza ottica per la trasmissione nella fibra ottica, il secondo è un cosiddetto «pettine di frequenza». Quest'ultimo consente la misurazione precisa e riferibile della frequenza ottica del primo laser. Questo pettine di frequenza è referenziato con l'ora universale coordinata UTC ed è quindi riferibile alla realizzazione dell'unità SI secondo.

Grazie alla stabilizzazione attiva della rete in fibra ottica viene assicurata una trasmissione molto precisa ai laboratori riceventi. Questo riduce massicciamente la precisione di misurazione per gli utenti e consente lo studio di nuovi fenomeni fisici fondamentali alla realizzazione dell'unità SI secondo.

Questo progetto è in linea con le tendenze attuali nella metrologia per il tempo e la frequenza. Da un lato, mira a costruire un'infrastruttura per confrontare segnali di alta precisione tra istituti di metrologia e di ricerca. D'altra parte, permetterà l'ulteriore sviluppo di orologi atomici ottici, che saranno utilizzati per la futura ridefinizione del secondo.

Transmitting high-precision frequencies with glass fibres

The dissemination of a highly accurate optical reference frequency is the goal of an interdisciplinary project which is supported by the Swiss National Science Foundation. The fibre optic network recently put into operation between METAS in Bern, the University of Basel and ETH Zurich, disseminates the reference frequency with one hundred times higher accuracy than previously. The optical glass fibres used are a part of the research and educational network operated by SWITCH.

The core of this new connection are two highly-specialised lasers stationed in METAS. The first generates the optical frequency for transmission in the glass fibre, while the second is known as the «frequency comb». This enables the precise and traceable measurement of the optical frequency of the first laser. This frequency comb is referenced to the coordinated universal time UTC, and thus traceable to the realisation of the SI unit second.

Active stabilisation of the fibre optic network ensures very accurate transmission to the receiving laboratory. The measurement accuracy for users is thus massively reduced and examination of new fundamental physical phenomena enabled.

This project is in line with today's trends in metrology for time and frequency. On the one hand, it aims to build an infrastructure that allows high-precision signals to be compared between metrology and research institutes. On the other hand, it enables further development of the optical atomic clocks that will be used for the future redefinition of the second.



Simultan Masse und Volumen bei Gewichten bestimmen

Auch nach der Redefinition der Einheit Kilogramm ist die Metrologie auf charakterisierte und rückführbare Referenzgewichte angewiesen. Die neue Methode der gleichzeitigen Volumen- und Massebestimmung durch Doppelwägung an der Luft bringt viele Vorteile. Sie erspart Zeit gegenüber der hydrostatischen Wägung und ist viel einfacher in der Handhabung.

KILIAN MARTI UND CHRISTIAN WÜTHRICH

Der Mensch versucht seit jeher seine Umgebung und die Objekte um ihn herum zu verstehen und zu vermessen. Dazu gehört auch das Wägen von Gewichten. Viele Menschen denken, sie wissen wie man ein Gewicht wägt, weil sie das ganz selbstverständlich jedes Mal tun, wenn sie Obst und Gemüse einkaufen. Man stellt das Objekt auf eine Waage und liest den Wert ab. Doch es gibt einiges zu beachten. In Wirklichkeit misst die Waage die Kraft, die das Gewicht aufgrund der Schwerkraft auf sie ausübt. Diese Messung scheint perfekt zu sein, doch sie ist mit Unsicherheiten behaftet. Dazu gehören

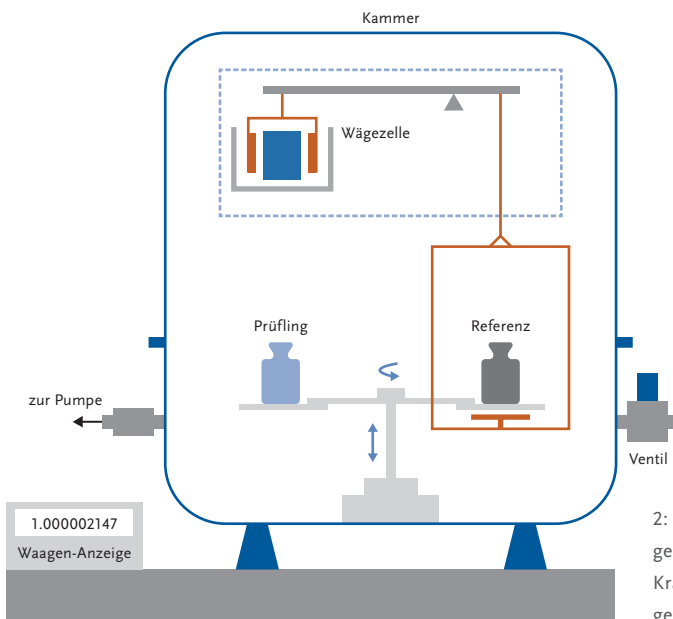


1: Abwägen ist nicht nur im Labor zentral. Damit Wägen zuverlässig funktioniert, kalibriert das METAS Gewichte seit Kurzem mit einer neuen und zeitsparenden Methode.

unter anderem die zeitliche Stabilität der Waage, ihr Linearitätsfehler, aber auch äussere Faktoren wie Temperatur oder Magnetfelder. So wird es mit einer Präzisionswaage kaum möglich sein, die Masse eines 1-kg-Gewichts genauer als 1 mg zu messen. Ein Masselabor möchte aber etwa ein Tausendmal genauer sein und eine Wiederholbarkeit bei den Messungen von etwa 1 μg erreichen. Hinzu kommt, dass das Wägen unter Umgebungsbedingungen durch den Luftauftrieb beeinflusst wird. Durch diesen Auftrieb reduziert sich die Kraft, die vom Gewicht auf die Waage ausgeübt wird. Ein 1-kg-Gewicht aus Stahl erfährt einen Luftauftrieb von etwa 140 mg, der berücksichtigt werden muss, um die gewünschte Messunsicherheit zu erreichen. In diesem Artikel präsentieren wir die Messgeräte und Methoden, die im Masselabor zur gleichzeitigen Bestimmung von Masse und Volumen von Vielfachen und Unter Vielfachen des Kilogramms verwendet werden.

Masse-Komparatoren

Eine moderne Waage kann die Kraft, die ein Gewicht auf sie ausübt, in ein elektrisches Signal umwandeln. Die Stabilität dieses Verfahrens wird jedoch durch die Unsicherheit der Waage begrenzt, die bei einer guten Waage etwa 1 mg pro Kilogramm beträgt. Um diese Einschränkung zu überwinden, werden im Labor Wäge-Systeme, sog. Komparatoren, eingesetzt, bei denen die vom Gewicht ausgeübte Kraft hauptsächlich durch ein Gegengewicht kompensiert wird. Nur die Kraftdifferenz zwischen dem Gewicht und dem Gegengewicht wird von einem elektrischen System, der sog. Wägezelle, gemessen.



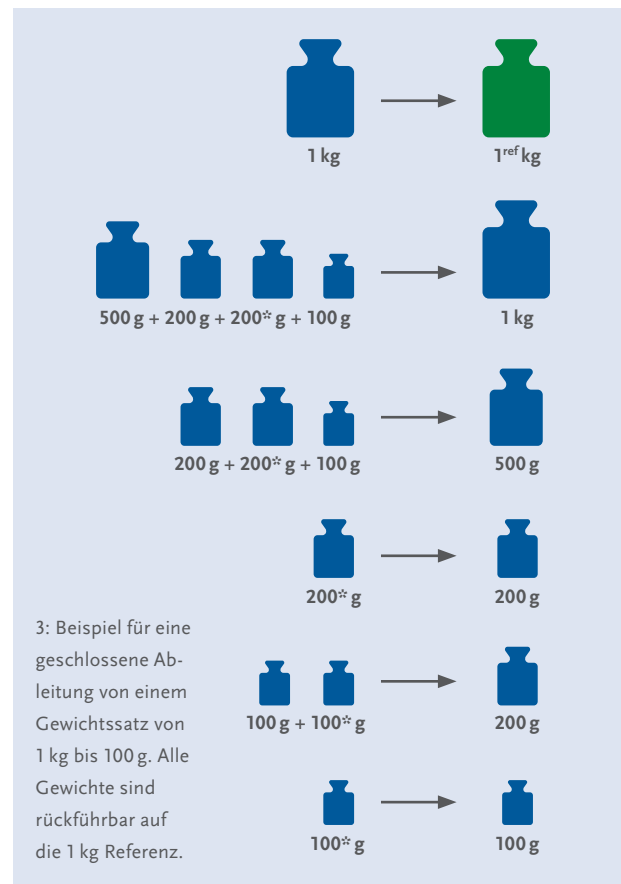
2: Schematische Darstellung der Substitutionswägung eines Prüflings gegen eine Referenz in einem Masse-Komparator. Gemessen wird die Kraftdifferenz zwischen Gewicht (Prüfling resp. Referenz) und Gegen-gewicht in der Wägezelle.

Eine solche Wägezelle funktioniert nur bei einem nominellen Wert, zum Beispiel 1 kg, und misst nur in einem sehr kleinen Messbereich von wenigen Gramm (Abbildung 2). Ihre Linearität in diesem kleinen Messbereich ist dafür umso besser. Wenn ein 1-kg-Masse-Komparator nur 1 g elektrisch messen kann, also zwischen 999.5 g und 1000.5 g, dann kann der Beitrag zur Messunsicherheit um den Faktor 1000 reduziert werden. Ein solcher Komparator ist optimal für die Messung eines einzelnen Massen-Sollwertes. Aufgrund der Funktionsweise der Wägezelle können nur Gewicht mit gleicher nomineller Masse miteinander verglichen werden. Mit Hilfe von Justiermassen lassen sich allerdings auf einem solchen Komparator auch Gewichte messen, die nur einen Zehntel des Nennwertes haben. Zum Beispiel kann eine Justiermasse von 900 g verwendet werden, um ein Gewicht mit einem Nennwert von 100 g zu bestimmen.

Die geschlossene Ableitung

Die Bestimmung von Massewerten unter oder über 1 kg erscheint zunächst unmöglich, wenn man mit einem Komparator arbeitet, dessen Nennwert 1 kg beträgt. Doch in der Realität ist es ganz einfach, wenn man mit einem geschlossenen Satz von Gewichten arbeitet. Um diese Technik zu veranschaulichen, nehmen wir als Beispiel einen Gewichtssatz bestehend aus 1 kg, 500 g, 200 g, 200* g, 100 g und 100* g, den wir mit einer Referenzmasse von 1 kg bestimmen wollen (Abbildung 3).

Dazu machen wir die folgenden Vergleiche:



3: Beispiel für eine geschlossene Ableitung von einem Gewichtssatz von 1 kg bis 100 g. Alle Gewichte sind rückführbar auf die 1 kg Referenz.

| | | | |
|--------------------------------|---|---------------------|------------|
| 1 kg | → | 1 ^{ref} kg | |
| 500 g + 200 g + 200* g + 100 g | → | 1 kg | |
| 200 g + 200* g + 100 g | → | 500 g | Tara 500 g |
| 200* g | → | 200 g | Tara 800 g |
| 100 g + 100* g | → | 200 g | Tara 800 g |
| 100* g | → | 100 g | Tara 900 g |

Jeder Vergleich entspricht einer mathematischen Gleichung. Es gibt sechs unbekannte Gewichte und sechs Gleichungen. Daraus entsteht ein System von Gleichungen. Mit diesem Gleichungssystem können wir die Massenwerte aller sechs Gewichte eindeutig bestimmen. Um ein Gleichungssystem überhaupt lösen zu können, muss es aus mindestens so vielen Gleichungen bestehen wie es Gewichte gibt. Da bei einigen Vergleichen Gewichte aufeinander gestapelt werden müssen, um sie

auf dem Komparator platzieren zu können, sind manchmal Hilfsmassen wie beispielsweise Scheiben notwendig. Dadurch entstehen auf einmal viel mehr Kombinationsmöglichkeiten, um die Gewichte gegeneinander zu vergleichen. Das führt dazu, dass wir deutlich mehr mathematische Gleichungen haben als nötig wären, um das Gleichungssystem lösen zu können. Das Gleichungssystem ist somit überbestimmt und wir haben, Redundanz. Kleinere Messfehler im Wägeprozess der geschlossenen Ableitung fallen dadurch weniger stark ins Gewicht. Oftmals lassen sich in einem überbestimmten Gleichungssystem keine exakten Lösungen finden. Deshalb bedient man sich sogenannter Optimierungsverfahren. Ein solches Optimierungsverfahren ist die *Methode der kleinsten Quadrate*. Diese wenden wir auf unser überbestimmtes Gleichungssystem an, um die Massenwerte der Gewichte bestmöglich zu schätzen. Die obigen Vergleiche könnten zum Beispiel mit den folgenden drei zusätzlichen Vergleichen ergänzt werden:

| | | | |
|---------------------------------|---|--------|------------|
| 500 g + 200 g + 200* g + 100* g | → | 1 kg | |
| 200 g + 200* g + 100* g | → | 500 g | Tara 500 g |
| 100 g + 100* g | → | 200* g | Tara 800 g |

Für grössere resp. kleinere Nennwerte der Gewichte braucht es geeignete Komparatoren. So lässt sich die Kette fast beliebig fortsetzen. Begrenzt wird die Kette nur vom technisch Machbaren der Messinstrumente. Am METAS liegen diese Grenzen momentan bei 1 mg und 1 Tonne.

Die Luft – ein Störfaktor beim Wägen?

Wir alle kennen den Effekt des Auftriebs wenn wir ins Wasser gehen. Unser Körper verdrängt Wasser und wir fühlen uns leichter. Unser Körper hat an Gewichtskraft verloren, nicht aber an Masse. Der Effekt des Auftriebs erfahren wir auch an Luft, jedoch etwa 1000 Mal weniger stark. Diese Luftauftriebskorrektur muss für jedes Gewicht in der geschlossenen Ableitung individuell berücksichtigt werden, da die Dichte der einzelnen Gewichte aufgrund deren Legierung typischerweise zwischen 7950 kg/m³ und 8050 kg/m³ schwankt. Ein 1-kg-Gewicht aus Stahl mit einer Materialdichte von 8000 kg/m³ erfährt einen Luftauftrieb von nur etwa 140 mg. Dennoch wollen wir den Luftauftrieb bei der Bestimmung der Masse eines Gewichts berücksichtigen. Damit wir das tun können, müssen wir das Volumen oder die Dichte des Gewichts kennen. Oft bedeutet dies, dass wir das Volumen des Gewichts vorgängig bestimmen müssen.

Volumenbestimmung durch hydrostatische Wägung im Wasser

Bei der hydrostatischen Wägung wird das Gewicht in Reinstwasser getaucht, also Wasser, das so gut wie keine Fremdstoffe wie zum Beispiel Magnesium, Kalzium oder Natrium enthält. Ein 1-kg-Gewicht aus Stahl wiegt im Wasser nur noch etwa 875 Gramm. Eine hydrostatische Wägung ist ebenfalls eine Kraftmessung. Mit dem Anzeigewert der Waage, die sich oberhalb des Wasserbeckens befindet, und der Wasserdichte lässt sich das Volumen des Gewichts bestimmen. Das Messprinzip ist einfach, doch die Realisierung ist sehr aufwän-

dig und die Handhabung äusserst komplex. Zudem hat die hydrostatische Wägung den Nachteil, dass das Wasser die Oberfläche des Gewichts verunreinigen und somit die Stabilität des Massewerts beeinträchtigen kann.

Volumenbestimmung durch Doppelwägung an Luft

Bei der Doppelwägung wird, wie bei einer einfachen Substitutionswägung, ein Gewicht gegen eine Referenz verglichen. Dieser Vergleich wird anschliessend bei einer anderen Luftdichte wiederholt. Voraussetzung hierfür ist ein Komparator, der sich in einer luftdichten Kammer befindet (Abbildung 4). An der Kammer angeschlossen ist eine Pumpe, mit der der Luftdruck im Innern reduziert werden kann. Durch die Reduzierung des Drucks, verringert sich auch die Luftdichte in der Kammer und damit der Auftrieb auf das Gewicht und die Referenz. Die bekannte Masse der Referenz und die unbekannte Masse des Gewichts ändern sich dabei nicht. Aber der Anzeigewert der Waage ändert sich, weil sich der Auftrieb ändert. So messen wir in beiden Luftdichten, ca. 1.13 kg/m³ bei 950 hPa und ca. 0.9 kg/m³ bei 750 hPa, je eine Wägedifferenz zwischen dem Gewicht und der Referenz. Aus diesen beiden Wägedifferenzen, den beiden Luftdichten und dem Volumen der Referenz lässt sich das Volumen des Gewichts berechnen. So erweist sich der Störfaktor Luft als äusserst hilfreich. Für das obige Beispiel mit einem 1-kg-Gewicht, das gegen eine 1-kg-Referenz verglichen wird, gibt es also zwei Gleichungen, je eine für jede Luftdichte ρ_{L1} und ρ_{L2} und den entsprechenden Wägedifferenzen w_1 und w_2 .

$$\begin{cases} m_{1\text{kg}} = m_{1\text{kgRef}} + \rho_{L1} \cdot (V_{1\text{kg}} - V_{1\text{kgRef}}) + w_1 \\ m_{1\text{kg}} = m_{1\text{kgRef}} + \rho_{L2} \cdot (V_{1\text{kg}} - V_{1\text{kgRef}}) + w_2 \end{cases}$$

$$V_{1\text{kg}} = V_{1\text{kgRef}} - \frac{w_2 - w_1}{\rho_{L2} - \rho_{L1}}$$

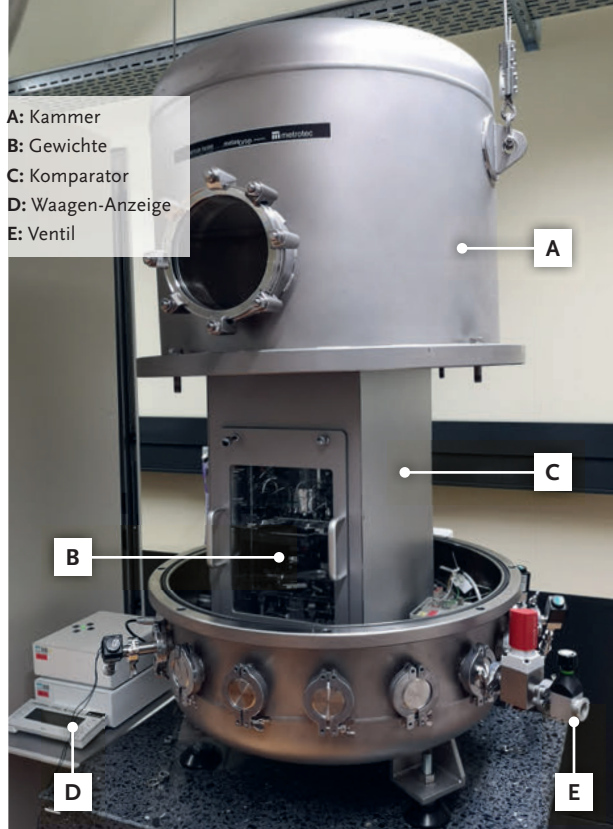
Man stellt fest, dass sich nur die Luftdichte und die gemessene Wägedifferenz ändern. Alle anderen Grössen bleiben unverändert. So ist es möglich, das Volumen des Gewichts zu berechnen.

Geschlossene Ableitung kombiniert mit Doppelwägung

Nachdem wir jetzt die Verfahren der Doppelwägung und der geschlossenen Ableitung beherrschen, können wir die beiden miteinander kombinieren. Die geschlossene Ableitung kombiniert mit der Doppelwägung ist neu am METAS und neu in der Metrologie. Das Labor *Masse, Kraft und Druck* hat zwei Berechnungsverfahren erarbeitet, um sowohl die Massen als auch die Volumen von Gewichten im Bereich von 10 g bis 10 kg mittels geschlossener Ableitung kombiniert mit Doppelwägung simultan bestimmen zu können.

Subtraktive Methode

Das gleiche Verfahren wie in der Rechnung oben erläutert, kann auf jedes der Gewichte im Beispiel angewendet werden.



4: Massekomparator in luftdichter Stahl-Kammer. Die Luftdichte in der Kammer lässt sich mittels Pumpe variieren.

Dadurch wird eine geschlossene Serie, die zur Bestimmung der Masse gedacht ist, in eine geschlossene Serie umgewandelt, die uns erlaubt, die Volumen der verwendeten Gewichte zu bestimmen. Mit diesem Gleichungssystem erhalten wir die Werte für die Volumen, die dann in den Gleichungen der geschlossenen Serie zur Bestimmung der Masse eingesetzt werden. Dieser Ansatz impliziert die sukzessive Auflösung zweier Gleichungssysteme, deren Unbekannte in einem ersten Schritt die Volumen und in einem zweiten Schritt die Massen sind. Die Methode zur Berechnung der Lösung ist in beiden Fällen genau die gleiche.

Globale Methode

Es ist auch möglich, das gesamte System bestehend aus allen Unbekannten der Massen und der Volumen in einem einzigen Gleichungssystem darzustellen und zu lösen. Dieses Gleichungssystem wird aus den zwei Sätzen von Wägungen gewonnen, die bei zwei verschiedenen Luftdichten durchgeführt wurden. Dieser globale Ansatz ist mathematisch etwas komplizierter zu realisieren, bietet aber eine gewisse Flexibilität in der Anwendung. Es ist zum Beispiel möglich, einen dritten Satz von Wägungen einzubeziehen, die bei einem dritten Luftdichtewert durchgeführt wurden. Darüber hinaus ermöglicht dieser Ansatz in einem Wägesystem mit Redundanz (mehr Wägungen als zu bestimmende Unbekannte) die Festlegung von Vertrauenskriterien.

Kontakt:
Dr. Christian Wüthrich und Dr. Kilian Marti
Wissenschaftliche Mitarbeiter Labor Masse, Kraft und Druck
mass@metas.ch

Messunsicherheiten

Ein Messwert ohne dazugehörige Messunsicherheit ist in der Metrologie nicht akzeptabel. Die Messunsicherheit gibt uns an, wie genau wir einen Messwert bestimmen können. Dabei wird die Messunsicherheit auf das Volumen von einer Vielzahl an Einflussfaktoren beeinflusst. Monte-Carlo-Simulationen der durch hydrostatische Wägung und Doppelwägung ermittelten Werte haben dies bestätigt. Ein Vergleich der beiden Methoden zur Volumenbestimmung zeigt, dass die Messunsicherheiten vergleichbar sind.

Schlussfolgerungen

Die Volumenbestimmung durch Doppelwägung an Luft bringt viele Vorteile mit sich. Die Methode erspart eine Menge Zeit gegenüber der hydrostatischen Wägung und ist viel einfacher in der Handhabung. Die Gewichte müssen nicht ins Wasserbecken getaucht werden, wodurch diese nicht kontaminiert oder korrodiert werden können. Zudem brauchen Gewichte, die ins Wasser getaucht worden sind, eine Stabilisierungszeit von mehreren Tagen bis sie weiterverwendet werden dürfen. Bei der Doppelwägung an Luft fällt diese weg. Kombiniert man die Doppelwägung mit der geschlossenen Ableitung, löst man zwei Probleme auf einmal: Zum einen ermöglicht die geschlossene Ableitung über mehrere Dekaden die Massebestimmung von Gewichten mit unterschiedlichen Nennwerten. Zum anderen ermöglicht die geschlossene Ableitung in Kombination mit der Doppelwägung die gleichzeitige Volumenbestimmung dieser Gewichte. Dadurch existiert eine interessante und effiziente Alternative zur hydrostatischen Wägung.

Literatur

Ch. Wüethrich, und K. Marti. «Simultaneous Determination of Mass and Volume of a Set of Weights in Group Weighing». ACTA IMEKO 9, Nr. 5 (31. Dezember 2020): 17–22; https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v9i5.931.



Calculer simultanément la masse et le volume des poids

Même si le kilogramme a été redéfini, la métrologie et l'industrie ont besoin de poids de référence caractérisés et traçables. Une méthode développée par METAS calcule en même temps la masse et le volume par un double pesage dans l'air. Le principe est simple: nous utilisons la poussée de l'air. En raison de la poussée, les corps perdent en poids mais non en masse dans l'eau et dans l'air. La poussée dépend de la densité du milieu environnant, raison pour laquelle l'effet dans l'air est 1000 fois inférieur.

Lors d'un double pesage, un poids est comparé à une référence, comme lors d'un pesage par substitution simple. Cette comparaison est ensuite répétée avec une autre densité d'air. Il faut pour cela un comparateur, qui se trouve dans une chambre étanche, et une pompe servant à modifier la pression intérieure. En réduisant la pression, la densité de l'air dans la chambre diminue également et, partant, la poussée sur le poids et la référence. Cette méthode peut aussi être appliquée sur un ensemble de poids en soi fermé de 10g à 10kg, pour lesquels tant leurs masses que leurs volumes peuvent être rapportés à la référence d'un kilo. Le système d'équations qui en résulte peut être utilisé pour calculer les masses et les volumes des poids.

Par rapport au pesage hydrostatique, qui était auparavant utilisé par défaut, la méthode permet de gagner beaucoup de temps, et elle est nettement plus simple à utiliser. Les poids ne doivent pas être plongés dans le bassin, ce qui signifie qu'ils ne peuvent être ni contaminés ni corrodés. En outre, la période de stabilisation de plusieurs jours avant que les poids humides puissent être réutilisés n'a pas lieu d'être. Une méthode intéressante et performante a ainsi été établie pour optimiser les processus internes et traiter plus rapidement les demandes des clients.

Determinare simultaneamente massa e volume per i pesi

Anche dopo la ridefinizione del chilogrammo, la metrologia e l'industria dipendono da pesi di riferimento caratterizzati e riferibili. Un metodo sviluppato dal METAS determina simultaneamente massa e volume mediante una doppia pesatura in aria. Il principio è semplice: utilizziamo la spinta ascensionale dell'aria. A causa della spinta ascensionale, i corpi perdono peso sia in acqua che in aria, ma non la massa. La spinta ascensionale dipende dalla densità del mezzo circostante, motivo per cui l'effetto nell'aria è mille volte inferiore.

Nella pesatura doppia, come nella pesatura a sostituzione semplice, un peso viene confrontato con un riferimento. Questo confronto viene poi ripetuto ad una diversa densità dell'aria. Questo richiede un comparatore situato in una camera a tenuta d'aria e una pompa in grado di modificare la pressione dell'aria all'interno. Riducendo la pressione, si riduce anche la densità dell'aria nella camera e quindi la spinta ascensionale sul peso e sul riferimento. Questo metodo può anche essere applicato a un set autonomo di pesi da 10g a 10kg, dove sia le loro masse che i loro volumi sono riferibili al campione di riferimento di 1kg. Il sistema di equazioni risultante può essere risolto per determinare le masse e i volumi dei pesi.

Rispetto alla pesatura idrostatica, precedentemente utilizzata come standard, il metodo consente di risparmiare molto tempo ed è molto più facile da usare. I pesi non devono essere immersi nel bacino d'acqua, il che significa che non possono essere contaminati o corrosi. Inoltre, viene eliminato il tempo di stabilizzazione di diversi giorni prima che i pesi bagnati possano essere riutilizzati. Con ciò si è stabilito un metodo interessante ed efficiente per ottimizzare i processi interni e sbrigare gli ordini dei clienti ancora più velocemente.

Determining mass and volume simultaneously with weights

Even after the redefinition of the kilogram, metrology and industry are still reliant on characterised and traceable reference weights. A method developed by METAS determines mass and volume simultaneously by double weighing in the air. The principle is simple: we use the air buoyancy. Due to the buoyancy, matter loses its weight in water as well as in the air, but not its mass. The buoyancy depends on the density of the surrounding medium, therefore the effect in the air is a thousand times smaller.

In double weighing, as with simple substitution weighing, a weight is compared with a reference. This comparison is then repeated with a different air density. The requirement for this is a comparator, which is located in an air-tight chamber, and a pump which can change the air pressure within. Due to the reduction in pressure, the air density inside the chamber also decreases and thus the buoyancy on the weight and the reference. This method can also be applied to a self-contained set of weights from 10g to 10kg, where both their masses and their volumes are traceable to the 1kg reference. The resulting system of equations can be solved to determine the masses and the volumes of the weights.

Compared to hydrostatic weighing, which was previously used as standard, the method saves a lot of time and is much easier to handle. The weights do not need to be immersed in a water basin, which means that they can neither be contaminated nor corroded. In addition, the stabilisation time of several days until wet weights can be used again is no longer required. An interesting, efficient method is thus established for optimising internal processes and enabling customer orders to be handled even faster.

The future of metrology – digitalization of metrology in METAS

Since the redefinition of the SI in May 2019, the metrology community has started defining how metrology will evolve during the current century. Significant updates of existing metrological services and metrological services required by the digital age can be conceived under the term «digital» metrology. How will the digitalization affect current and future metrological services? This article tries to clarify terms and organize ideas to identify a clearer path for the evolution of metrology.

FEDERICO GRASSO TORO

During the last few years, the term «digitalization» has been associated with innovation, but it has been also associated with tasks that are not at all the intention underneath. Since the terms are still confusing for most people, here are a few key terms to keep in mind:

Digitization: «...the representation of an object, image, sound, document or signal (usually an analog signal) by generating a series of numbers that describe a discrete set of its points or samples...»

Digitalization: «the use of digital technologies to change a business model and provide new revenue and value-producing opportunities; it is the process of moving to a digital business.»

Digital Transformation: «The total and overall effect of digitalization.»

A simple example: from maps to Google Maps

The creation, evolution and ongoing deployment of the mobile phone tool known as Google Maps disrupted the map industry. While paper maps still exist, the new options and features included in the dynamic and real-time updated maps in our pockets provide users new services that old analog map manufacturers cannot provide. To scan an analog map into a digital file would be only to «digitize» it. Nevertheless, to create a tool as powerful as Google Maps, with its multi-layer on-line services mean to «digitalize» a map.

Digitalization of Metrology

To make METAS a leading actor in the future of digital metrology, it is our duty to proactively create, evolve and apply new approaches, new tools and new services. All current efforts to digitize work in METAS, towards paperless and mostly digi-

tally recorded information, has much more to do with «Technology and Operation» in METAS, while the digitalization of metrology, has more to do with innovative research and development opportunities in METAS laboratories.

Current Trends

Now that we know what the digitalization of metrology may entail, we can focus on current digital trends, but most importantly on trends that are the most significant and pressing for the future of metrology. The worldwide metrology market is estimated to reach, thanks to these digitalization efforts, \$14 Billion by 2027.

Innovative efforts and their pressing metrological needs:

Digital industry: an interesting example from the Joint Audit Cooperation (JAC) is the «sustainable factory» concept, including modules for self-recycling and auto-efficient systems within industrial lines, requiring «digital thread» for traceability purposes and new types of certification for industrial modules including industrial internet of things (IIoT).

Smart City: a Bosch and Intel concept for smart cities include 24/7 real-time monitoring systems with air quality alerts for specific city sectors. This new modular sensor networks will require «digital trust» for their collected data; as well as new methods to certify said modules. Ongoing research aims to establish a new metrology called «urban metabolism metrology», converging metrological and legal metrology requirements.

Digital Identification: based on pattern recognition technologies from fingerprint, gait and other person-identifiers, a new emerging metrology sometimes called «human metrology» will require traceability of results and verification of processes related to person recognition.

Trustworthy AI: new methods to verify data quality will be required to achieve reasonable and trustworthy data-driven decisions from innovative systems aid by artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) techniques, also described as «AI metrology».

Digitalization of metrology and the metrology of digitalization

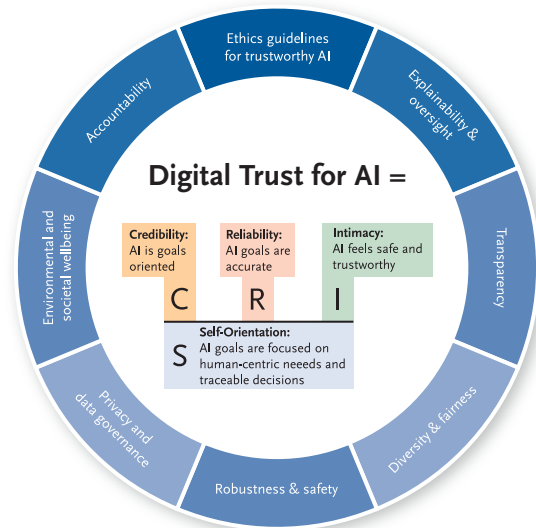
While other institutes of metrology are trying to catch up with these digital trends, here in METAS we are aiming to prepare ourselves before the innovation storm to come, dividing ongoing trends into two clear sets of research and development opportunities: The digitalization of metrology and the metrology of digitalization.



A scanned map (digitized) does not have Google Map features or dynamic information (digitalized).



Smart City requires new metrologies, such as measuring sensor networks metrology and Urban Metabolism Metrology (© Smart City Verein Bern).



Metrology of Digitalization – Digital trust for AI: A new interesting opportunity is using metrological approaches towards developing trustworthy AI.

Digitalization of Metrology in METAS

Data science approaches, including big data, artificial intelligence, machine learning, will allow new innovative measuring systems. Existing regulations and guidelines are being updated to establish clear procedures to streamline innovation, allowing the creation of additional value for «digital» metrological services.

This first set of research and development opportunities entails:

- The inclusion of features such as integrity, availability and quality of measurement data from sensor networks;
- the digitalization of calibration data/reports/certificates; and
- the establishing of data governance policies, towards improving internal traceability and complying with FAIR (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable) principles for Open Science.

METAS is currently working in collaboration with other NMIs to develop, test and deploy these new tools required by the digitalization of current metrological services (e.g., Digital Calibration Certificates, KCDB-API, etc.).



Metrology of Digitalization in METAS

By including metrology approaches to all new digital trends and technologies, the future institutes of «digital» metrology will ensure the placing on market of innovative measuring systems, as one of the main actors in the Quality Infrastructure updated process.

This second set of research and development opportunities entails:

- Data Science techniques for quantitative imaging, reliability of AI algorithms, etc.
- Simulation and virtual measurement devices (e.g., digital models, digital shadows and digital twins)
- Certification and calibration of Industry 4.0

METAS is currently establishing national and international collaborative efforts, bringing our competences to EURAMET TC-IM working group «Metrology for Digital Transformation» (WG M4D).

Digitalization in METAS

This series of METInfo articles will introduce the ongoing evolution of metrology in METAS.

Topics in follow up articles will include:

- Interdisciplinary framework of METAS Laboratories for innovation in research and development;
- Update Metrological Services by/with digital technologies;
- New METAS Data Governance Policy, towards better data-driven decision making in METAS; and
- Potential Research Topics for Digital Services for innovative/complex systems in METAS laboratories.

Contact:
 Dr.-Ing. Federico Grasso
 Scientist research and development
 federico.grasso@metas.ch
 +41 58 387 02 94

Digitalisierung des Messwesens und die Metrologie der Digitalisierung

Um sich auf den kommenden Sturm digitaler Innovationen vorzubereiten, teilt das METAS die Trends in zwei klare Gruppen von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten:

Die Digitalisierung der Metrologie

Big Data, künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen, werden neue innovative Messsysteme ermöglichen. Bestehende Vorschriften und Richtlinien werden aktualisiert. Das bedeutet nicht nur die Digitalisierung von Kalibrierdaten, sondern das Miteinbeziehen von Funktionen wie Integrität, Verfügbarkeit und Qualität von Messdaten. Darüber hinaus braucht es Richtlinien für das Forschungsdatenmanagement (RDM), die auf Ziele wie Open Science und FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable) ausgerichtet sind. Das METAS arbeitet derzeit in Zusammenarbeit mit anderen NMIs an der Entwicklung, Erprobung und dem Einsatz dieser neuen Werkzeuge.

Metrologie der Digitalisierung

Die künftigen Institute für digitale Metrologie werden metrologische Ansätze zu neuen digitalen Trends und Technologien miteinbeziehen. Als Hauptakteure werden sie für digitale Metrologie den Prozess der Aktualisierung der Qualitätsinfrastruktur begleiten sowie das Inverkehrbringen von innovativen Messsystemen sicherstellen. Im Fokus stehen «Data Science» (z.B. Zuverlässigkeit von KI-Algorithmen usw.), virtuelle Messgeräte (z.B. digitale Zwillinge) sowie die Zertifizierung und Kalibrierung der Industrie 4.0.

Derzeit baut das METAS nationale und internationale Kooperationen auf, z.B. um in der Arbeitsgruppe EURAMET TC-IM «Metrology for Digital Transformation» (WG M4D) sein Wissen einzubringen.

Numérisation de la métrologie et métrologie de la numérisation

Afin de se préparer à la déferlante d'innovations numériques à venir, METAS distingue deux grands groupes d'activités de recherche et de développement:

Numérisation de la métrologie

Le Big Data, l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique ouvriront la voie à des systèmes de mesure innovants. Les prescriptions et lignes directrices en vigueur seront actualisées. Cela ne signifie pas uniquement la numérisation des données de calibrage, mais l'intégration de fonctions comme l'intégrité, la disponibilité et la qualité des données de mesure. De plus, il faut des lignes directrices pour la gestion des données de recherche (RDM), qui visent des objectifs comme Open Science et les principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable). METAS planche actuellement, en collaboration avec d'autres INM, sur le développement, le test et l'utilisation de ces nouveaux outils.

Métrologie de la numérisation

Les futurs instituts de métrologie numériques vont intégrer des approches métrologiques aux nouvelles tendances et technologies numériques. Ils seront en première ligne pour accompagner, en métrologie numérique, le processus de mise à jour de l'infrastructure qualitative et la mise en service de systèmes de mesure innovants. La priorité sera accordée à la «Data Science» (p. ex. la fiabilité des algorithmes d'IA, etc.), les instruments de mesure virtuels (p. ex. les jumeaux numériques) ainsi que la certification et le calibrage de l'industrie 4.0.

Actuellement, METAS établit des coopérations nationales et internationales, p. ex. pour faire bénéficier le groupe de travail EURAMET TC-IM «Metrology for Digital Transformation» (WG M4D) de ses connaissances.

Digitalizzazione della metrologia e metrologia della digitalizzazione

Per prepararsi alla prossima tempesta dell'innovazione digitale, il METAS divide le tendenze in due gruppi chiari di attività di ricerca e sviluppo:

La digitalizzazione della metrologia

Big data, intelligenza artificiale e apprendimento automatico consentiranno nuovi sistemi di misurazione innovativi. I regolamenti e le linee guida esistenti vengono aggiornati. Questo non significa solo digitalizzare i dati di taratura, ma anche incorporare funzioni come l'integrità, la disponibilità e la qualità dei dati di misurazione. Inoltre, sono necessarie linee guida per la gestione dei dati di ricerca (RDM) che siano orientate agli obiettivi come la scienza aperta e i principi FAIR (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable). Il METAS sta attualmente lavorando in collaborazione con altri INM allo sviluppo, al test e all'utilizzo di questi nuovi strumenti.

Metrologia della digitalizzazione

I futuri istituti di metrologia digitale incorporeranno approcci metrologici alle nuove tendenze e tecnologie digitali. In qualità di attori principali, accompagneranno il processo di aggiornamento dell'infrastruttura di qualità per la metrologia digitale e garantiranno l'immissione sul mercato di sistemi di misura innovativi. L'attenzione si concentra sulla «scienza dei dati» (ad es. l'affidabilità degli algoritmi di intelligenza artificiale, ecc.), sui dispositivi di misurazione virtuali (ad es. i gemelli digitali) nonché sulla certificazione e taratura dell'Industria 4.0.

Il METAS sta attualmente stabilendo cooperazioni nazionali e internazionali, ad es. per contribuire con le sue conoscenze al gruppo di lavoro EURAMET TC-IM «Metrology for Digital Transformation» (WG M4D).

Eine Spitzengeschichte

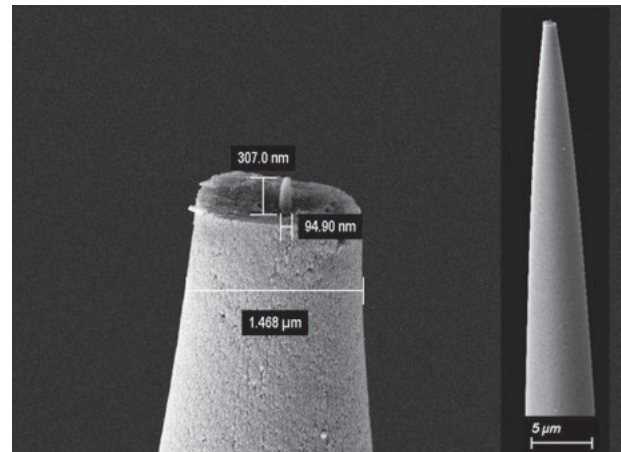
Unser Alltag ist ohne Elektronik und Batterien unvorstellbar. Das Funktionieren dieser Bauteile hängt von der Qualität der eingesetzten Materialien und deren Anordnung ab. Um Bauteile analysieren zu können, misst das Scanning Microwave Microscope (SMM) sowohl topographische als auch elektrische Eigenschaften. Dabei stellt eine koaxiale, nanometerdicke Platin-Spitze den Kontakt zwischen Messgerät und Objekt her. Erstmals ist es gelungen, koaxiale Spitzen mit Eigenschaften herzustellen welche quantitative nanoelektrische Messungen ermöglichen.

JOHANNES HOFFMANN, BENEDIKT HERZOG,
BRUNO ECKMANN, TOAI LEQUANG, MARKUS ZEIER

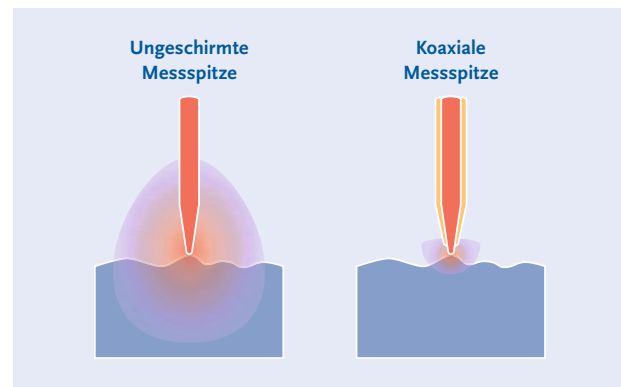
Die Bewältigung ständig wachsender digitaler Informationsmengen, batteriegetriebene Autos und der Bedarf nach schneller und verlässlicher Gensequenzierung haben eine Gemeinsamkeit: Das Funktionieren der jeweiligen Systeme hängt von kleinsten elektrischen Elementen und deren Eigenschaften ab. Zum Beispiel kann in Lithium-Ionen-Batterie selbst ein submikrometergrosser Defekt auf den Elektroden der Batterien einen Brand verursachen. Um die elektrischen Eigenschaften kleiner Objekte zu charakterisieren, braucht man deshalb geeignete Messgeräte, die Messungen in der benötigten räumlichen Auflösung durchführen können. Ein Beispiel dafür ist das Scanning Microwave Microscope (SMM) [vgl. METinfo 1/2018], welches vom Labor Hochfrequenz betrieben wird. Dieses Gerät kann sowohl die Topographie (räumliche Anordnung) als auch die elektrischen Eigenschaften von Materialien und Objekten mit Submikrometernaflösung bestimmen. Der Kontakt zwischen Messgerät und Objekt wird über eine leitfähige Spitze hergestellt. Diese Spitze ist äusserst fein, mit einem Krümmungsradius von typischerweise weniger als 50 Nanometern. Die Spitze wird mittels eines Kontrollmechanismus Linie für Linie über die Oberfläche bewegt und erzeugt so ein Bild der Oberflächenhöhe und ein Bild der elektrischen Eigenschaften des Messobjekts. Darauf können kleinste topografische Merkmale und elektrische Eigenschaften erkannt werden. Jedoch werden die elektrischen Messungen relativ stark durch äussere Einflüsse gestört. Zwar geschieht normalerweise der Stromfluss vom Messgerät zum Objekt hin gut definiert durch die Spitze. Für den Rückfluss sucht sich der Strom aber «einen beliebigen Weg zurück» ins Messgerät und kann dabei relativ einfach beeinflusst werden. Solche «parasitären Effekte», werden durch das unipolare Design der Messspitze begünstigt. Dieser Sachverhalt wurde im Horizon-020-Projekt MMAMA (www.mmama.eu) näher untersucht. Durch den Einsatz geschirmter Spitzen in Koaxialstruktur, bei denen Hin- und Rückfluss des Stroms über elektrisch getrennte Innen- und Aussenleiter nahe am Messpunkt realisiert werden, können parasitäre Effekte wesentlich reduziert werden (siehe Grafik. 2).

Spitzenproduktion als Schlüssel

Eine koaxiale Spitze mit einem vertretbaren Arbeitsaufwand (<10 Stunden pro Spitze) bei Serienfertigung herzustellen, mag zunächst nach einem trivialen Problem klingen. Es haben



1: Die im METAS hergestellten koaxialen Spitzen sind rund 500mal dünner als ein menschliches Haar und dienen zum Messen quantitativer nanoelektrischer Eigenschaften.



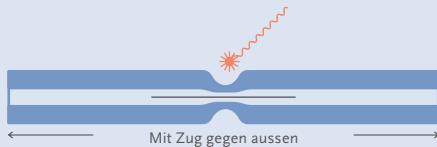
2: Der Einsatz geschirmter Spitzen in Koaxialstruktur (rechts), reduziert parasitäre elektrische Effekte wesentlich.

sich aber bereits mehrere Firmen und Universitätslabore daran versucht und sind gescheitert. Nach einer Evaluation verschiedener Produktionsprinzipien wurde eine Methode gewählt, die auf dem aus der Biologie und Chemie bekannten Prozess des Pipettenziehens abgeleitet ist. Das Verfahren gliedert sich in 7 Schritte (siehe nächste Seite). Auch bei dieser Methode gibt es viele Möglichkeiten des Scheiterns, z.B. zu grosser Durchmesser des Innenleiters, Kurzschluss zwischen Innen- und Aussenleiter, unterbrochener Innenleiter, Aussenleiter länger als Innenleiter, unterbrochener Aussenleiter, falsche Impedanz der Spitze und viele andere mehr.

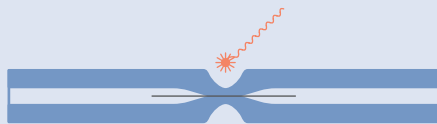
Herstellungsprozess der koaxialen Spitze



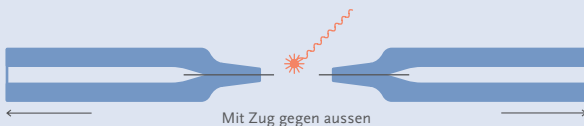
1 Ein kurzes Stück Platindraht wird in ein Glasröhrchen mit Aussendurchmesser 1.2 mm eingebracht. Kleinste Verschmutzungen an kritischen Stellen führen sofort zu Fehlern, deshalb muss im ganzen Prozess, fett- und möglichst staubfrei mit Latexhandschuhen gearbeitet werden.



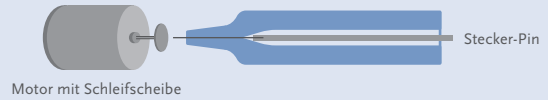
2 Das Röhrchen wird mit einem Pipettenziehgerät, vorverjüngt. Diese Vorverjüngung erlaubt, in den folgenden Schritten einen Draht- und Glasdurchmesser an der Spitze von weniger als 100 nm respektive ca. 1–10 μ m zu erzielen.



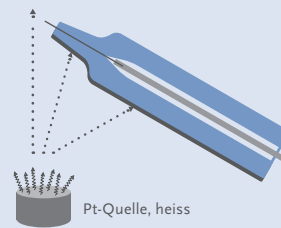
3 Ein mechanisch und thermisch gut verbundenes System aus Glaswand und Platindraht muss hergestellt werden. Dazu werden die Enden des Röhrchens an eine Vakuumpumpe angeschlossen. Das Glasröhrchen wird erneut durch den Laser erhitzt, durch den Unterdruck werden die Rohrwände nach innen gegen den Platindraht gedrückt und mit diesem verschweisst. Dadurch entsteht eine möglichst grosse Kontaktfläche zwischen Glas und Draht.



4 Anschliessend wird das Röhrchen so stark erhitzt, dass es mit dem eingeschweissten Draht in zwei separate Teile gezogen wird, dabei entstehen dünne Spitzen. Der Aussendurchmesser einer Spitze liegt im Bereich von einigen Mikrometern (Grösse von z.B. E. Coli Bakterien), der Durchmesser des eingeschmolzenen Innenleiters unterhalb von 100nm (Grösse von Viren).



5 Falls der Spitzendurchmesser für spezifische Anwendungen grösser sein soll, kann die konisch zulaufende Spitze unter dem Mikroskop an einer dickeren Stelle abgebrochen werden. Dabei entsteht jedoch eine sehr unebene Bruchfläche, die einen elektrischen Kontakt mit einem Testobjekt verunmöglicht. Um erneut ein flaches Ende der Spitze zu erhalten, wird diese mit einem von unserem Physikalaborantenlehrling gebauten Schleifapparat glattgeschliffen. Die Schleifmaschine kann auch dazu verwendet werden, um verunreinigte Spitzen durch Polieren wieder aufzubereiten.



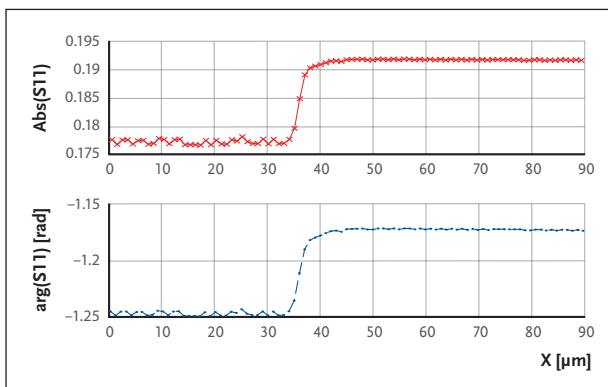
6 Der nächste Schritt besteht darin, die Spitzen mit Platin zu bedampfen und so den Aussenleiter der koaxialen Spitze zu schaffen. Dies geschieht mit einer sogenannten Schattenbedampfung. Deren Prinzip basiert darauf, dass sich das erhitzte Metall im Bedampfungsapparat ähnlich wie Licht gradlinig ausbreitet. Somit sind Bereiche vorhanden die im Schatten liegen.

7 Zuletzt wird Grösse und Qualität jeder einzelnen produzierten Spitze mit dem Rasterelektronenmikroskop am CMI (Center of MicroNano Technology, der EPFL, Lausanne) geprüft.

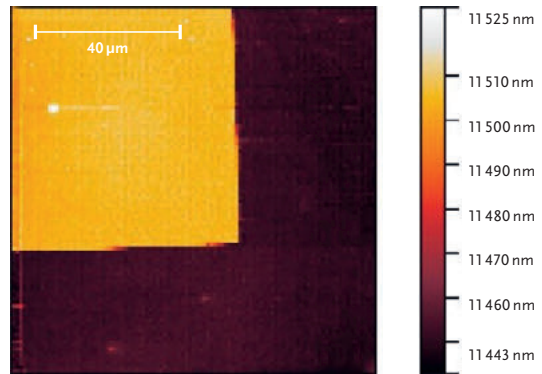
Rückführbare nanoelektrische Messungen

Inzwischen existieren einsatzfähige Versionen der Spitze, die mit einem von der METAS-Werkstatt gefertigten Spitzenhalter für Messungen benutzt werden können. Um die Wirksamkeit der koaxialen Spitze zu testen, wurde eine Teststruktur am CMi (Center of MicroNano Technology, der EPFL, Lausanne) hergestellt.

Die Teststruktur besteht aus einem Quadrat aus aufgedampftem Gold mit einer Seitenlänge von 3 cm auf einer SiN-Schicht von 500 nm Dicke, die wiederum auf einem Si-Wafer aufgebracht ist. Eine Kante des Goldquadrats wurde mit einer herkömmlichen Spitze und einer koaxialen Spitze überfahren (siehe Bild 4). Die Ergebnisse werden noch mit einer möglichst vollständigen Berechnung der auftretenden Unsicherheiten versehen werden. Die Unsicherheitsberechnungen für die koaxiale Spitze und der Aufbau eines rückgeführten Messplatzes für nanoelektrische Messungen mittels der koaxialen Spitze, sind Thema des im Sommer 2021 startenden EMPIR-Projekts Elena. Basierend auf der koaxialen Spitze wird eine Dienstleistung des METAS für quantitative nanoelektrische Messungen erstellt werden.



3: Elektrisches Signal (Amplitude und Phase) beim Überfahren der Goldkante mit der koaxialen Spitze. Würde man eine normale Spitze für die Messung verwenden würde man nach dem Sprung eine stetige Steigung in den Kurven sehen.



4: Topographie einer Ecke der Teststruktur. Links oben ist eine Ecke des Goldquadrats sichtbar. Rundum ist SiN sichtbar.

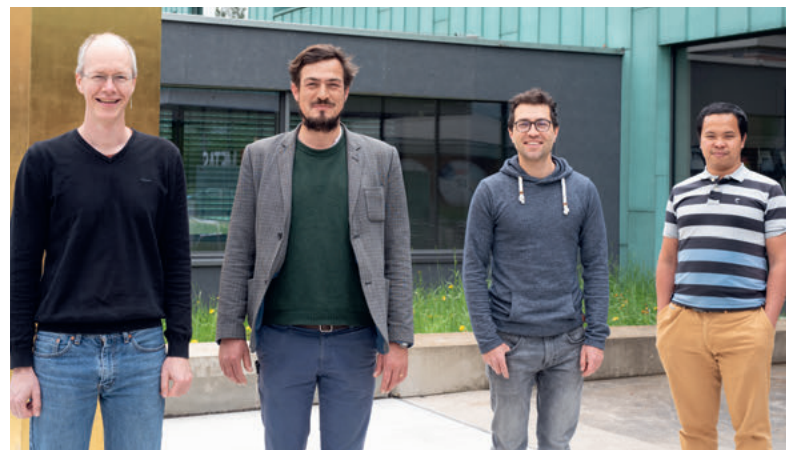
Die koaxialen Spitzen bieten Möglichkeiten, Mikro- und Nanometer grosse Materialproben zu charakterisieren, was auch für die Forschung im Bereich der Nanotechnologie interessant ist. Zurzeit besteht eine Zusammenarbeit mit dem Laboratoire des matériaux magnetiques nanostructures et magnoniques der EPFL (www.epfl.ch/labs/lmgn). Hier ist das Ziel die weitere Erforschung von Skyrmionen. Dies sind magnetische Strukturen welche unter anderem als Datenspeicher oder Logikelemente genutzt werden könnten.

Der Vorteil einer koaxialen Spitze zeigt sich nicht nur bei Messungen im Trockenen, sondern besonders bei Messungen in Flüssigkeiten. Dort ist eine Abschirmung der Spitze notwendige Voraussetzung für Messungen. Ohne seitliche Abschirmung der Spitze würde man nur den Einfluss der umgebenden Flüssigkeit sehen.

Durch die Abschirmung werden Messungen in flüssigen Elektrolyten von Lithium-Ionen-Batterien ermöglicht, wie sie zum Beispiel in Autos oder Mobiltelefonen Verwendung finden. Die koaxiale Spitze ermöglicht damit unter anderem die eingangs erwähnten submikrometergrossen Defekte in Batterien aufzuspüren. Dies wird im Rahmen des Projekts Nanobat (www.nanobat.eu) erforscht.

Kontakt:
 Dr. Johannes Hoffmann
 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Labor Hochfrequenz
johannes.hoffmann@metas.ch
 +41 58 387 07 16

Von links: Benedikt Herzog,
 Bruno Eckmann, Toai LeQuang



Une histoire de pointe

Pour les batteries lithium-ion, un défaut de moins d'un micromètre sur les électrodes des batteries peut causer l'incendie d'un véhicule. Afin de caractériser les propriétés électriques de petits objets, il faut donc des instruments de mesure appropriés, capables d'effectuer des mesures dans la précision spatiale requise.

Un exemple en est le microscope micro-onde (Scanning Microwave Microscope, SMM). Cet appareil peut définir avec une précision de moins d'un micromètre aussi bien la topographie (agencement spatial) que les caractéristiques électriques de matériaux et objets. Le contact entre l'instrument de mesure et l'objet passe par une pointe en platine conductrice.

Cette pointe est extrêmement fine; son rayon de courbure est typiquement inférieur à 50 nanomètres. Sa production est un défi que des entreprises et laboratoires universitaires ne sont pas parvenus à relever. Entre-temps, METAS a développé des méthodes permettant de produire des pointes utilisables. Elles permettent de proposer un service de mesures nanoélectriques quantitatives. Cela permet par exemple de déceler des défauts de moins d'un micromètre dans des batteries, ce qui fait l'objet de recherches approfondies dans le cadre du projet Nanobat.

Una storia eccezionale

Nelle batterie agli ioni di litio, anche un difetto di dimensioni inferiori al micrometro sugli elettrodi delle batterie può causare un incendio nel veicolo. Per caratterizzare le proprietà elettriche di piccoli oggetti, sono quindi necessari adeguati strumenti di misura in grado di effettuare misurazioni con la risoluzione spaziale richiesta.

Un esempio di ciò è il microscopio a micro-onde a scansione (Scanning Microwave Microscope (SMM)). Questo apparecchio può determinare sia la topografia (disposizione spaziale) che le proprietà elettriche di materiali e oggetti con una risoluzione submicrometrica. Il contatto tra lo strumento di misurazione e l'oggetto viene stabilito tramite una punta di platino conduttiva.

Questa punta è estremamente fine, il suo raggio di curvatura è tipicamente inferiore a 50 nanometri. La sua produzione è una sfida che ditte e laboratori universitari non sono riuscite a raccogliere. Nel frattempo, il METAS ha sviluppato metodi per produrre punte utilizzabili. Sulla base di ciò viene creato un servizio per misurazioni nanoelettriche quantitative. Tra le altre cose, tale servizio consente di rilevare difetti di dimensioni submicrometriche nelle batterie ed è oggetto di ricerca nell'ambito del progetto Nanobat.

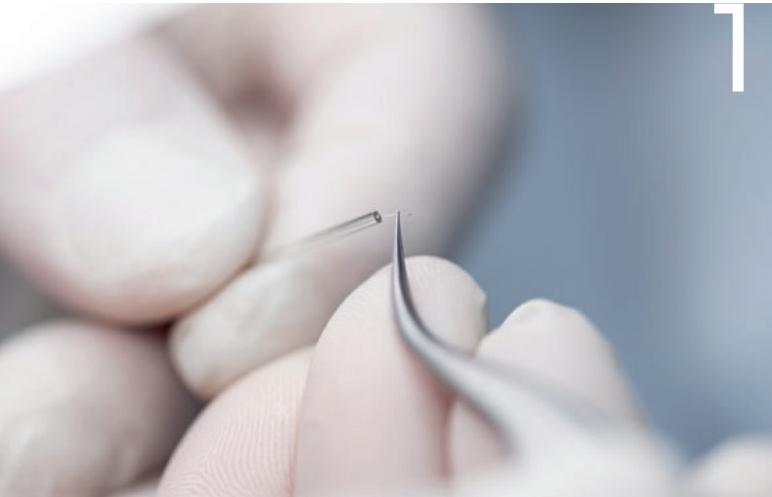
A tip-top story

In lithium-ion batteries, a defect on the electrodes of the batteries of even sub-micrometre dimensions can cause a vehicle fire. To characterise the electrical properties of small objects, you therefore need suitable measuring instruments which can perform measurements in the required spatial resolution.

An example of this is the Scanning Microwave Microscope (SMM). This device can determine both the topography (spatial arrangement) as well as the electrical properties of materials and objects with sub-micrometre resolution. The contact between measuring instrument and object is established via a conductive platinum tip.

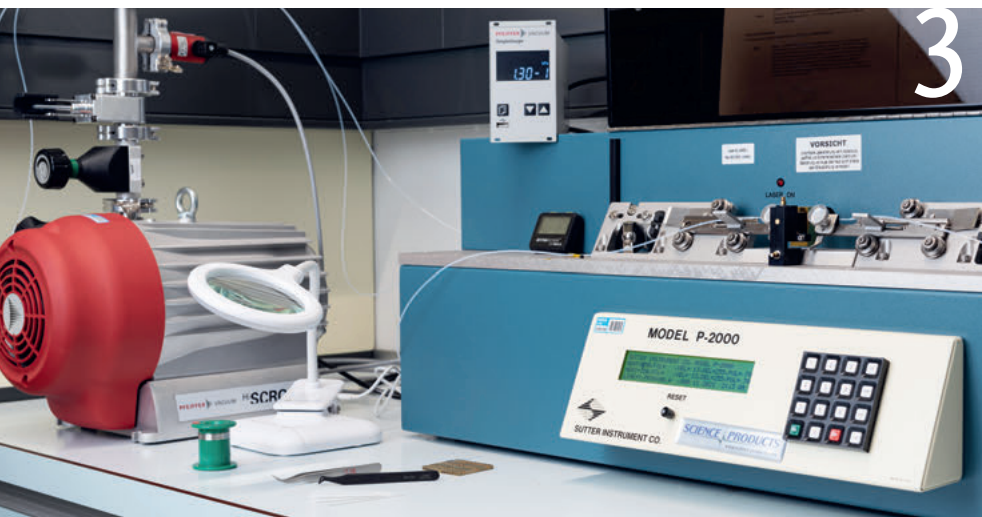
This tip is extremely fine, and its radius of curvature is typically less than 50 nanometres. Its production is a challenge that companies and university laboratories have failed to meet. In the meantime, METAS has developed methods for producing usable tips. Based on this, a service for quantitative nanoelectrical measurements is being created. Among other things, this will enable sub-micrometre-sized defects to be detected in batteries and is being investigated as part of the Nanobat project.

Schritt für Schritt zur Spitze *Pas à pas vers la pointe*



1: Der Platindraht wird mit einer Pinzette in das Glasröhrchen eingeführt. | *Le fil de platine est inséré dans le tube en verre à l'aide d'une brucelle.*

2: Das Glasröhrchen bleibt nach dem Vorverjüngen im Pipettenziehgerät eingespannt. | *Après son rétrécissement, le tube en verre reste fixé dans le système d'étirement.*

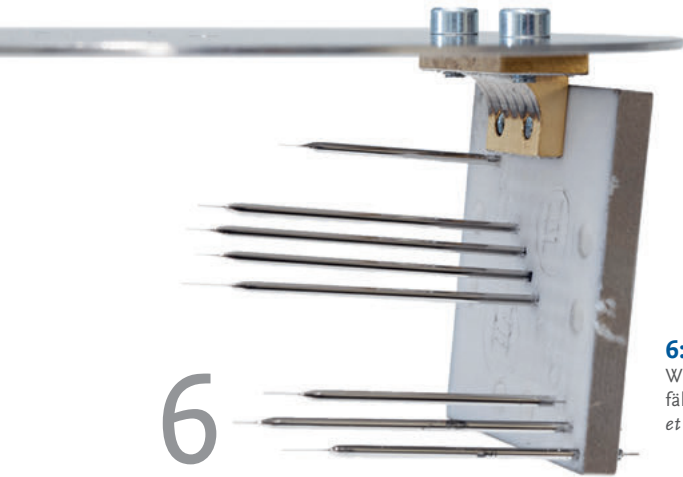
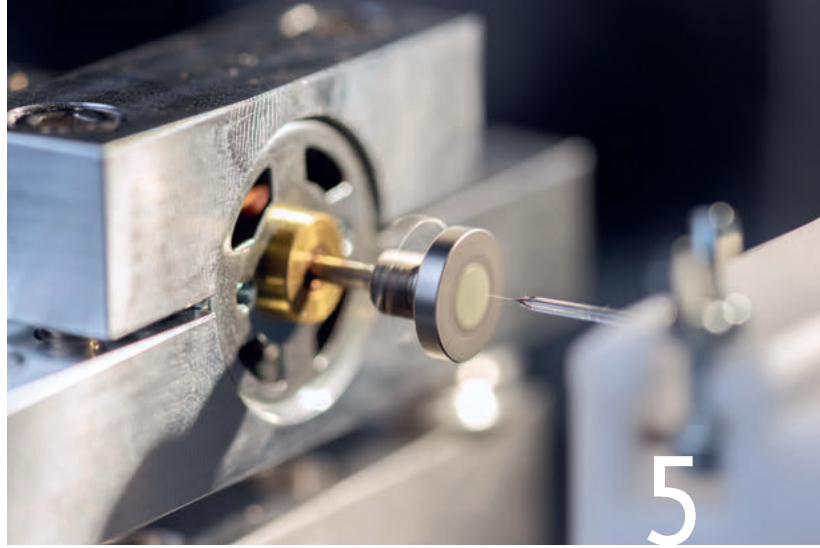


3: Mit zwei Plastikschläuchen wird die Vakuumpumpe mit dem Glasröhrchen verbunden. Beim darauffolgenden Schmelzen des Glases entsteht so ein Verbund aus Platindraht und Glas. | *La pompe à vide est reliée au tube en verre par deux petits tuyaux en plastique. Lors de la fusion du verre qui s'ensuit, un mélange de fil de platine et de verre se forme.*

4: Nach erneutem Erhitzen mittels eines Lasers ist das Glasröhrchen nun auseinandergezogen und zwei Spitzen sind entstanden. | *Après avoir été à nouveau chauffé au moyen d'un laser, le tube de verre est étiré jusqu'à ce que deux pointes soient formées.*

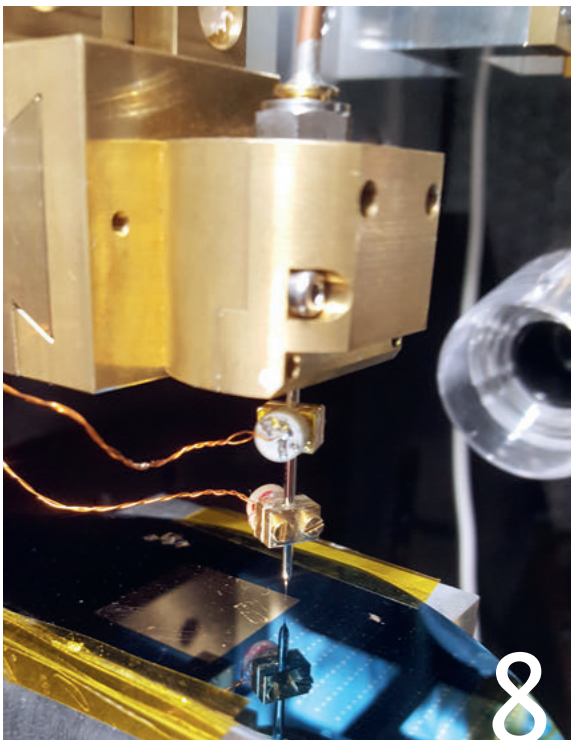
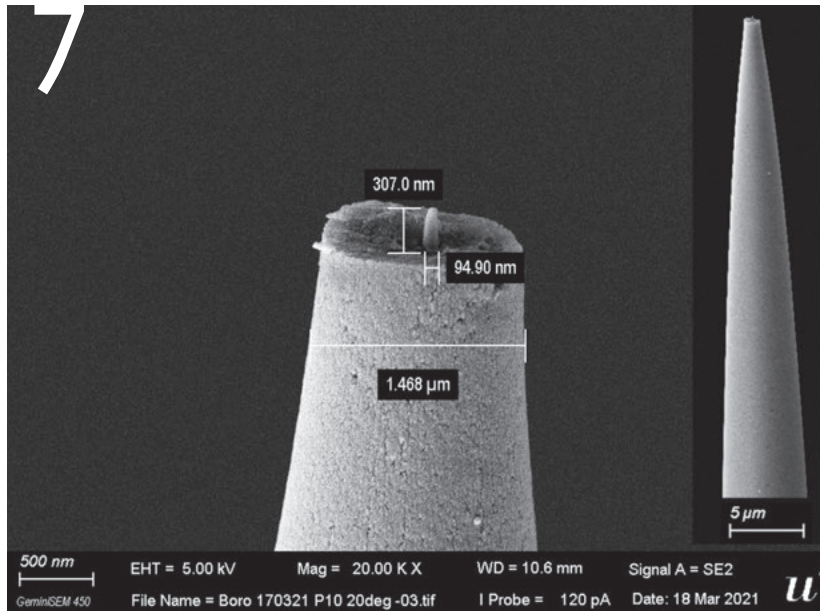


5: Mit der Schleifmaschine können die Spitzen vergrößert oder bei Verschmutzung wiederaufbereitet werden. | *Les pointes peuvent être retravaillées par ponçage, soit pour les agrandir, soit pour en retirer les impuretés.*



6: Der Halter für die Bedampfungsanlage ist so konzipiert, dass die Spitzen in einem Winkel zur Bedampfungsrichtung stehen und so ein Bedampfungsschatten auf die Spitze fällt. | *Le support de l'installation de vaporisation est conçu de façon à créer un angle des pointes et la direction de la vaporisation, dans le but de protéger la pointe de la vaporisation.*

7: Das Rasterelektronenmikroskop zeigt, ob die Spitze gut gefertigt wurde. Wichtig ist der kleine Spitzenradius und dass der Draht aus dem Glas hervorsteht. | *Le microscope électronique à balayage montre si la pointe est bien formée. Il est important que le rayon de courbure de la pointe soit faible et que le fil dépasse du verre.*



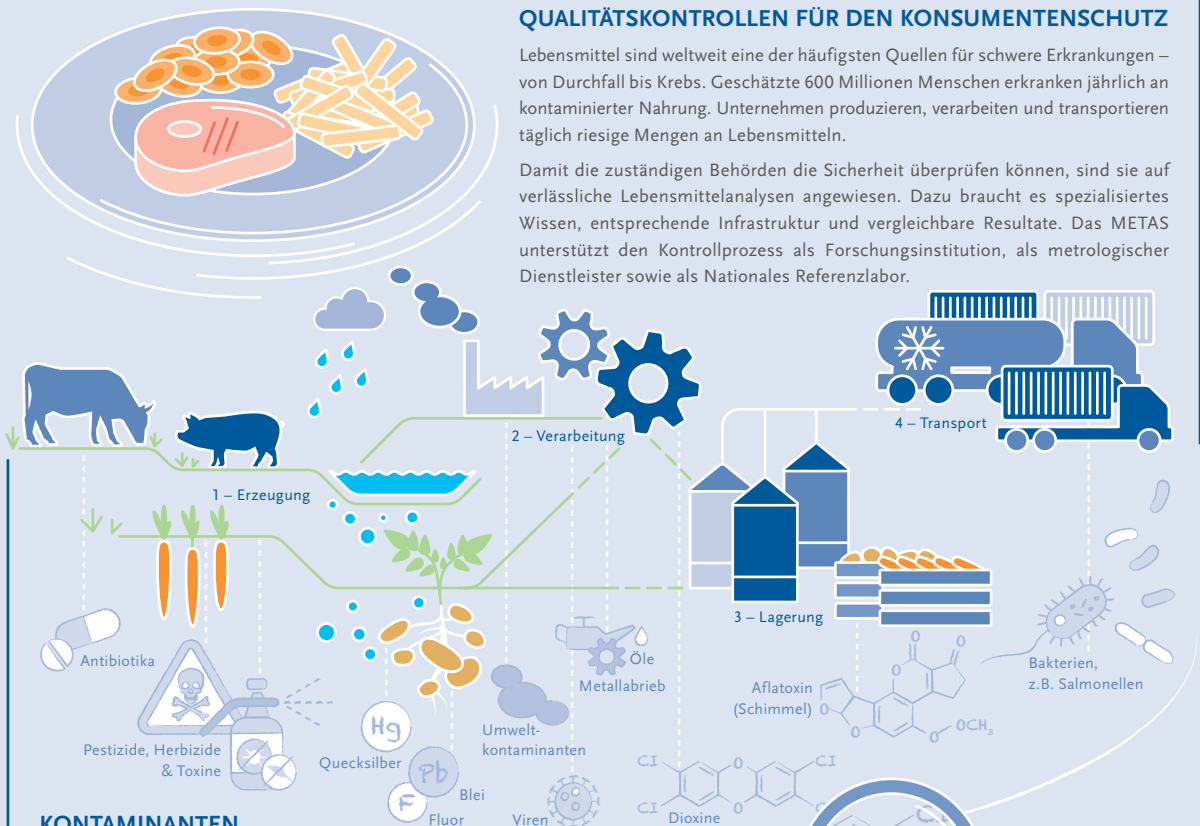
8: Spitzenhalter mit eingesetzter Spitze und montierten Piezosensor und Piezoaktuator. Das Objekt unter der Spitze ist eine Teststruktur mit einem Goldquadrat auf Siliziumnitrid. | *Porte-pointe avec la pointe insérée, le capteur piézoélectrique, et l'actionneur piézoélectrique. L'objet sous la pointe est un échantillon de test constitué d'un carré d'or sur une base de nitrure de silicium.*

Metrologie im Dienste der Lebensmittelsicherheit

QUALITÄTSKONTROLLEN FÜR DEN KONSUMENTENSCHUTZ

Lebensmittel sind weltweit eine der häufigsten Quellen für schwere Erkrankungen – von Durchfall bis Krebs. Geschätzte 600 Millionen Menschen erkranken jährlich an kontaminierter Nahrung. Unternehmen produzieren, verarbeiten und transportieren täglich riesige Mengen an Lebensmitteln.

Damit die zuständigen Behörden die Sicherheit überprüfen können, sind sie auf verlässliche Lebensmittelanalysen angewiesen. Dazu braucht es spezialisiertes Wissen, entsprechende Infrastruktur und vergleichbare Resultate. Das METAS unterstützt den Kontrollprozess als Forschungsinstitution, als metrologischer Dienstleister sowie als Nationales Referenzlabor.



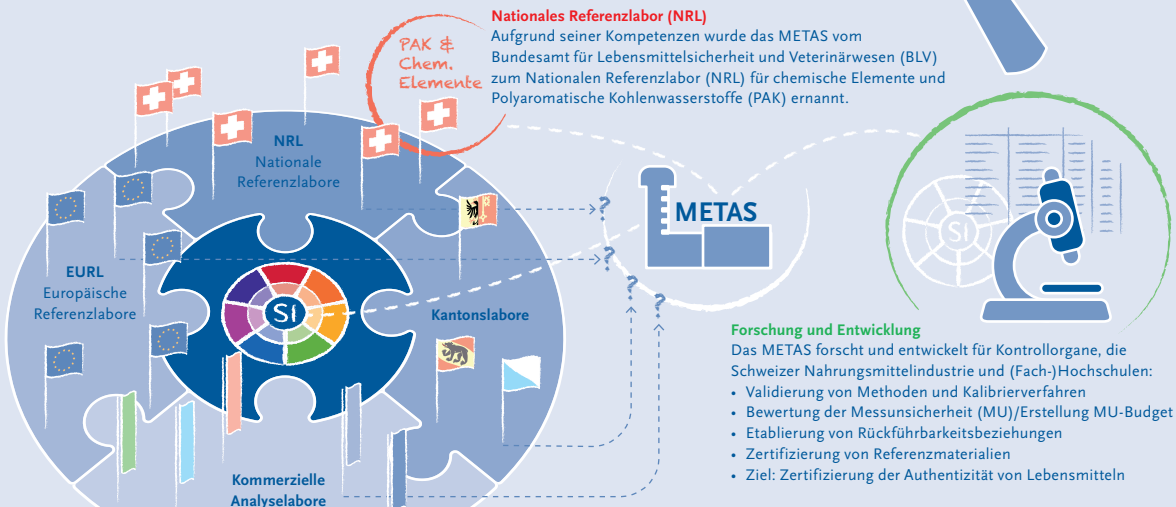
KONTAMINANTEN

Chemische Stoffe, die unabsichtlich in Lebens- oder Futtermitteln gelangen, sind ein Risiko für die Gesundheit von Mensch und Tier. Solche Stoffe können auf den verschiedenen Stufen (Erzeugung, Verarbeitung, Lagerung, Transport) in Lebensmittel gelangen oder die Folge von Umweltverschmutzungen sein. Die biologische Kontamination (Pilze, Bakterien, Viren) ist ebenso vielfältig wie problematisch.

ANALYTIK

Nationales Referenzlabor (NRL)

Aufgrund seiner Kompetenzen wurde das METAS vom Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) zum Nationalen Referenzlabor (NRL) für chemische Elemente und Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) ernannt.



Forschung und Entwicklung

- Das METAS forscht und entwickelt für Kontrollorgane, die Schweizer Nahrungsmittelindustrie und (Fach-)Hochschulen:
- Validierung von Methoden und Kalibrierverfahren
 - Bewertung der Messunsicherheit (MU)/Erstellung MU-Budget
 - Etablierung von Rückführbarkeitsbeziehungen
 - Zertifizierung von Referenzmaterialien
 - Ziel: Zertifizierung der Authentizität von Lebensmitteln

METROLOGISCHES LABOR FÜR SICHERE LEBENSMITTEL

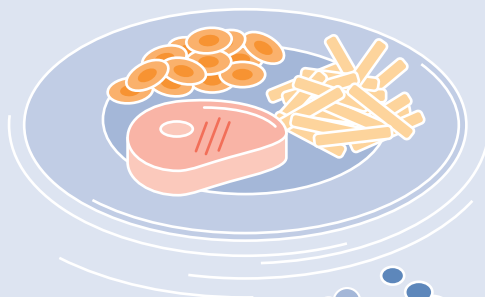
Als nationales Metrologieinstitut etabliert das METAS die Rückführung von Messwerten auf das Internationale Einheitensystem (SI) und ist Anlaufstelle für diverse Anliegen betreffend Metrologie in der Lebensmittelsicherheit.

www.metas.ch

Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS

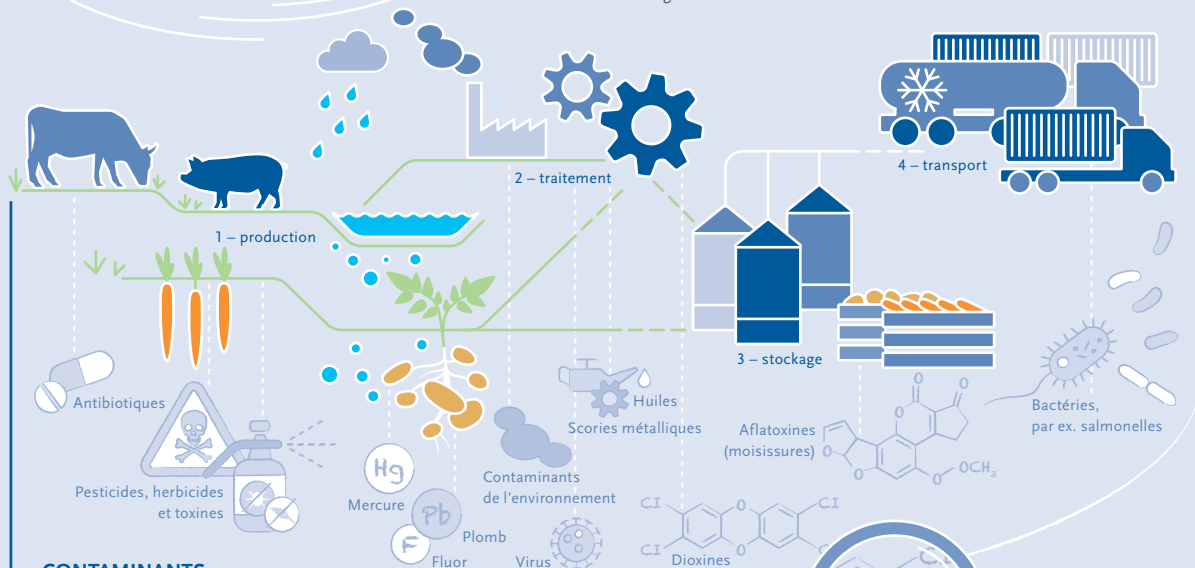
Illustration: Nadja Stadelmann

La métrologie au service de la sécurité alimentaire



CONTRÔLES DE QUALITÉ POUR LA PROTECTION DES CONSOMMATEURS

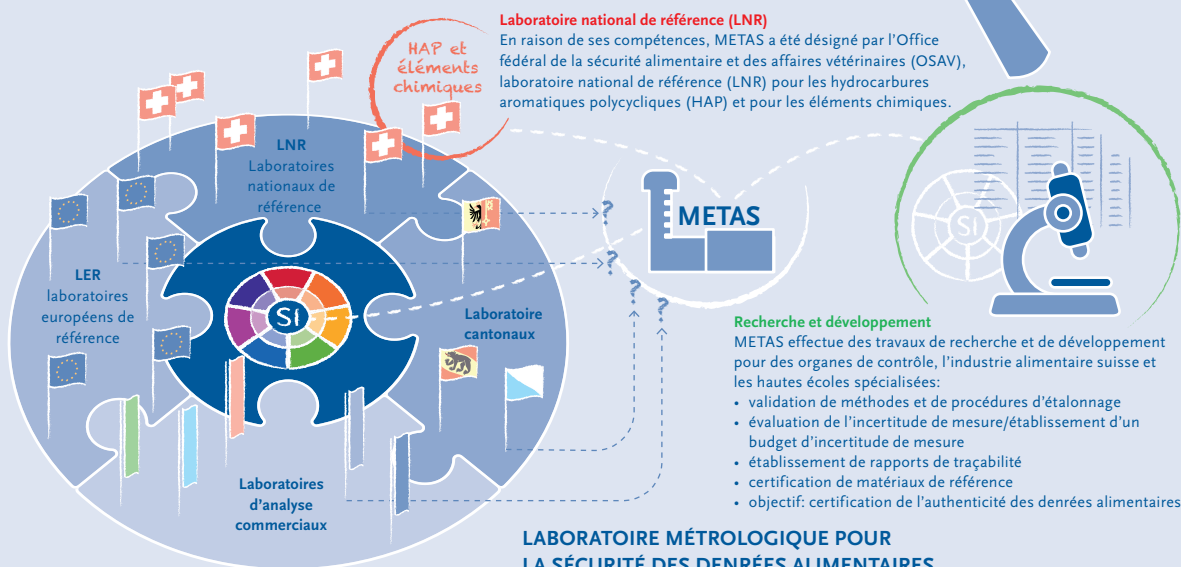
Les denrées alimentaires sont une des sources les plus fréquentes de maladies graves dans le monde: de la diarrhée au cancer. On estime que chaque année, 600 millions d'individus tombent malades après avoir ingéré de la nourriture contaminée. Les entreprises produisent, traitent et transportent quotidiennement des quantités énormes de denrées alimentaires. Les autorités compétentes s'appuient sur des analyses fiables pour pouvoir contrôler la sécurité des denrées alimentaires. Des connaissances spécialisées, une infrastructure appropriée et des résultats comparables sont nécessaires à cet effet. METAS soutient le processus de contrôle en tant qu'institution de recherche, prestataire en matière de métrologie et laboratoire national de référence.



CONTAMINANTS

Les substances chimiques qui se retrouvent de manière involontaire dans les denrées alimentaires ou les aliments pour animaux présentent un risque pour la santé de l'homme et de l'animal. Ces substances peuvent se retrouver dans les denrées alimentaires lors des différentes étapes de la chaîne de production alimentaire (production, traitement, stockage, transport), ou découler de la pollution. La contamination biologique (champignons, bactéries, virus) est aussi diverse que problématique.

ANALYSES



Laboratoire national de référence (LNR)
En raison de ses compétences, METAS a été désigné par l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV), laboratoire national de référence (LNR) pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et pour les éléments chimiques.

Recherche et développement
METAS effectue des travaux de recherche et de développement pour des organes de contrôle, l'industrie alimentaire suisse et les hautes écoles spécialisées:

- validation de méthodes et de procédures d'étalonnage
- évaluation de l'incertitude de mesure/établissement d'un budget d'incertitude de mesure
- établissement de rapports de traçabilité
- certification de matériaux de référence
- objectif: certification de l'authenticité des denrées alimentaires

LABORATOIRE MÉTROLOGIQUE POUR LA SÉCURITÉ DES DENRÉES ALIMENTAIRES

En tant qu'Institut national de métrologie, METAS établit la traçabilité des valeurs de mesure au Système international d'unités (SI) et il est le point de contact pour diverses demandes concernant la métrologie et la sécurité des denrées alimentaires.

www.metas.ch

Institut fédéral de métrologie METAS

Illustration: Nadja Stadelmann

sensLAB – Bewegungs- und Präsenzsensoren auf dem Prüfstand

Mit Bewegungs- und Präsenzmeldern lassen sich ganze Beleuchtungssysteme intelligent steuern und insbesondere auch Energie sparen. Die Qualität solcher Sensoren ist jedoch unterschiedlich und wurde bis jetzt nicht standardisiert geprüft. Um dies zu ändern, schlossen sich Sensorhersteller im Verein sensNORM zusammen und erarbeiteten einen Normungsvorschlag zur nun publizierten Norm IEC 63180:2020. Die Prüfanlage am METAS ist weltweit die erste unabhängige Prüfanlage, welche es erlaubt, solche Sensoren gemäss dieser Norm auszumessen.

FLORIAN STUKER

In der Schweiz werden ungefähr 13 % des gesamten Energiebedarfs für Beleuchtungszwecke verwendet. Wenn Licht bedarfsgerecht eingesetzt würde, liesse sich rund die Hälfte dieses Energieverbrauchs einsparen [1]. Bewegungs- und Präsenzsensoren sorgen zunehmend dafür, dass sich Leuchten nur zur richtigen Zeit und am richtigen Ort ein-, bzw. ausschalten. Solche Beleuchtungseinrichtungen, die auf Veränderungen der Umgebung oder der Nutzerwünsche reagieren, werden im Konzept des Smart Lightings (Intelligente Beleuchtung) zusammengefasst. Damit sollen in Zukunft Energieeinsparungen und eine nutzungsabhängige Steuerung von Licht realisiert werden.

Mit qualitativ hochwertigen Sensoreckdaten können Lichtplaner softwarebasierte Planungen von neuen intelligenten Beleuchtungskonzepten im Aussenbereich oder im Innenraum verlässlicher realisieren. Leider sind aber die Leistungsparameter von Präsenz- und Bewegungssensoren heute kaum untereinander vergleichbar, da jeder Hersteller andere Messverfahren verwendet und es in der Branche kein einheitliches Vorgehen gibt.

Entstehung des Projekts sensLAB

Um diese Sensoren zuverlässig bewerten und ausmessen zu können, haben sich namhafte Sensorhersteller aus der Schweiz und Europa zum Verein sensNORM [2] zusammengeschlossen und mit dem European Committee of Electrical Installation Equipment Manufacturers (CECAPI) einen Normungsvorschlag ausgearbeitet. Dieser Normungsantrag wurde bei der

International Electrotechnical Commission (IEC) eingereicht und ist nun unter der Nummer IEC 63180:2020 [3] publiziert. In der Norm sind die Messbedingungen und die zu bestimmenden Parameter so definiert und beschrieben, damit nun passive Infrarotsensoren (PIR-Sensoren), wie in Abb. 1 dargestellt, automatisiert vermessen werden können.

Um die Norm umzusetzen, hat das METAS im Jahre 2020 beschlossen, das Projekt sensLAB zu starten. In Zusammenarbeit mit dem Verein sensNORM entstand ein weltweit erstes herstellerunabhängiges Messlabor, das Bewegungs- und Präsenzsensoren gemäss der Norm IEC 63180:2020 vollautomatisch vermessen kann. Die Messanlage erlaubt alle heute verfügbaren handelsüblichen Infrarotsensoren präzise gemäss den Anforderungen der Norm auszumessen.

Funktionsweise und Aufbau eines PIR-Sensors

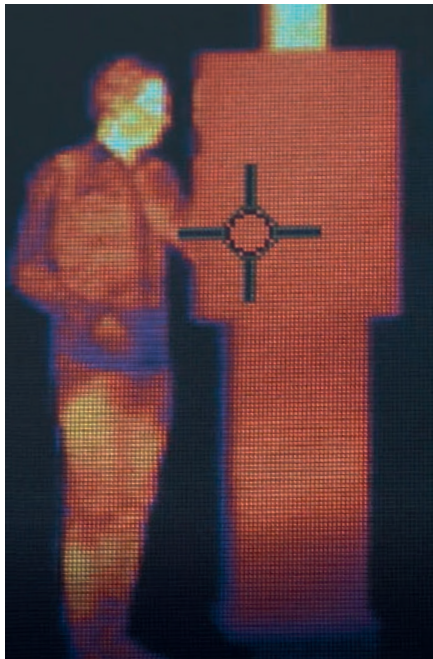
Ein PIR-Bewegungs- und Präsenzsensordetektor ist ein passiver Halbleitersensor, der Temperaturänderungen detektieren kann. Im Gegensatz dazu basieren die Sensortechnologien mit Hochfrequenz (HF) und Ultraschall (US) auf aktiven Elementen, die in den Raum ausstrahlen und die reflektierte Strahlung detektieren und analysieren. Die PIR-Technologie macht sich den pyroelektrischen Effekt zunutzen bei dem in einem polarisierten Festkörper (Halbleiterkristall) durch eine Temperaturänderung elektrische Spannung (Piezoelektrizität) erzeugt wird.

Parameter der Messanlage

Für die automatisierte tangentielle und die radiale Sensorausmessung werden auf Linearantrieben montierte Dummies



1: Eine Auswahl von verschiedenen Bauarten von Bewegungs- und Präsenzsensoren.



2: Temperaturverteilung eines Menschen im Vergleich zu einem 1:1 Dummy, aufgenommen mit einer Wärmebildkamera.

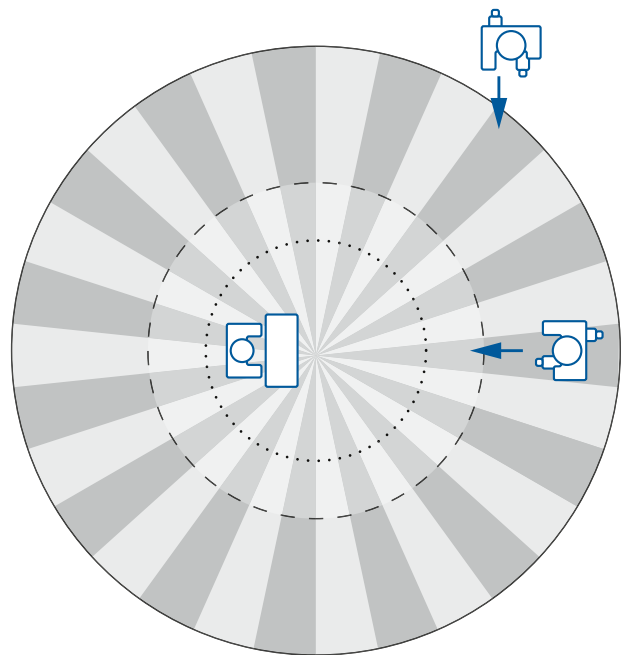


3: Das sensLAB am METAS: In der Mitte des Raumes verläuft die radiale, am Raumende die tangentielle Achse. Dazwischen steht der Testarm, während sich der Sensor am Deckenantrieb auf einer typischen Höhe von 2.5 m befindet.

verwendet, während der Sensor auf einem Linearantrieb parallel zur radialen Achse an der Decke montiert wird. Diese Dummies sind einem menschlichen Körper nachempfunden und mit Heizelementen versehen, um den Kopf, den Körper und die Beine unabhängig zu beheizen. Für den Kopf wird eine Temperatur von $(14 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$ über der Raumtemperatur vorgegeben während für den Körper und die Beine eine Temperaturdifferenz von $(7 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$ erforderlich ist (siehe Abb. 2).

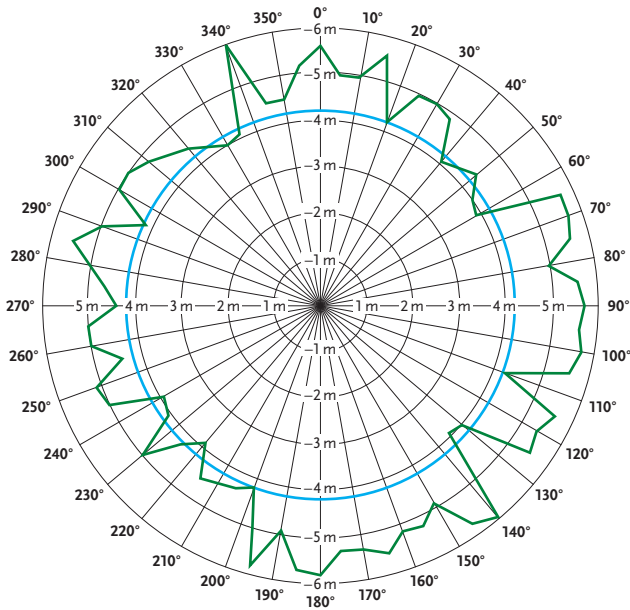
Die Voraussetzung, um diese konstanten Temperaturunterschiede zu garantieren, ist die Realisierung einer stabilen Raumtemperatur, welche am METAS mit $(21.2 \pm 0.2) \text{ }^\circ\text{C}$ gegeben ist. Um Sensormontagehöhen zwischen 3.7 m und 18.5 m zu simulieren, werden verschiedene Skalierungen der Dummies eingesetzt. Entsprechend werden zu einem lebensgrossen Dummy der Grösse von 175 cm auch verkleinerte Dummies im Verhältnis 1:2 und 1:5 eingesetzt.

Der Präsenzbereich (siehe Abb. 4) wird mit einem ebenfalls beheizten $((14 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$ über der Raumtemperatur) und automatisierten Testarm ermittelt, welcher den Unterarm einer Person nachbildet. Dieser Testarm simuliert eine 90° Unterarmbewegung während einer Sekunde und lässt eine horizontale und mit einer weiteren Konfiguration eine vertikale Bewegungsrichtung zu. Neben der Temperaturstabilität des Messraumes müssen auch entsprechend Raumdimensionen vorhanden sein, um die Messanlage installieren zu können. Am METAS steht eine Raumlänge von 15 m, eine -höhe und -breite von 5 m zur Verfügung. Darin lässt sich in der Längsachse der Raummitte einen radialen Verfahrweg von 12.4 m und senkrecht dazu am Raumende über die ganze Raumbreite ein tangentialer Bewegungsbereich von $\pm 1.7 \text{ m}$ realisieren. Durch den Einsatz eines 1:5-Dummy kann somit ein Bewegungsbereich von radial 62 m und tangential $\pm 8.5 \text{ m}$ abgedeckt werden. Weiter lässt sich der Sensor am Deckenantrieb

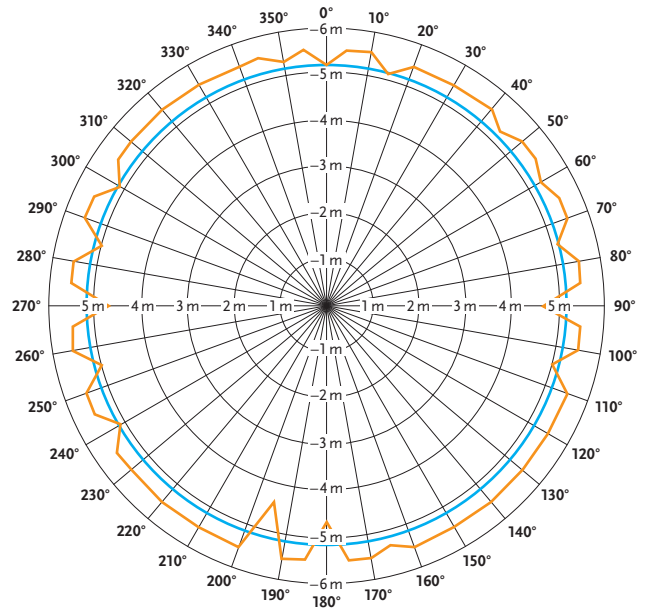


4: Die tangentielle Erfassung beschreibt das Sensorverhalten, wenn sich eine Person quer zum Erfassungsbereich des Sensors bewegt (durchgezogene Linie). Bei einer radialen Erfassung bewegt sich eine Person direkt auf den Sensor zu, auf einer Linie vom Rande des Erfassungsbereiches zum Sensor hin (gestrichelte Linie). Der Präsenzbereich beschreibt die Erfassung von kleinen Bewegungen (gepunktete Linie) (Drehung des Kopfes, Bewegung des Unterarms).

auf einer Länge von 13.6 m über die tangentielle Achse verfahren (siehe Abb. 3). Alle Linearantriebe der drei Achsen sind so gestaltet, dass sich eine Masse von 60 kg mit einer Geschwindigkeit von 2 m/s verschieben lässt und eine Positioniergenauigkeit von $< 2 \text{ mm}$ erreicht wird.



5: Als Beispiel das Resultat eines radialen Erfassungsbereichs (grün, ausgedrückt in Metern) mit entsprechender idealisierter geometrischer Form (blauer Kreis) unter Berücksichtigung des 15%-Kriteriums.



6: Als Beispiel das Resultat eines tangentialen Erfassungsbereichs (orange, ausgedrückt in Metern) mit entsprechender idealisierter geometrischer Form (blauer Kreis) unter Berücksichtigung des 15%-Kriteriums.

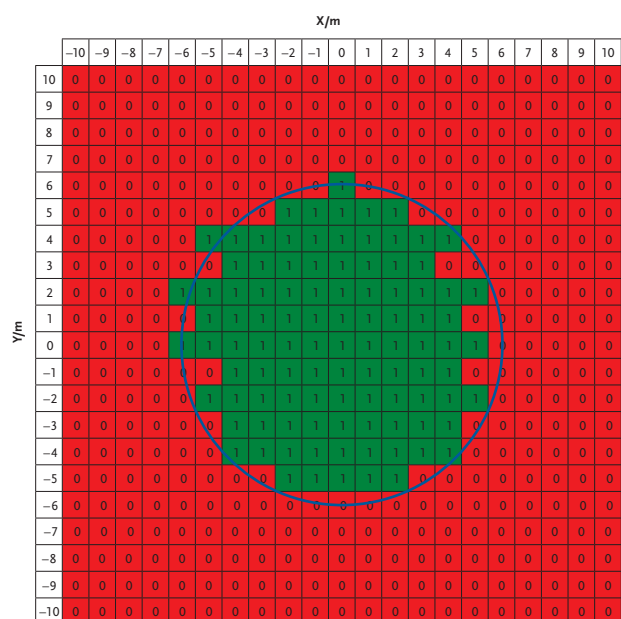
Messverfahren gemäss IEC 63180:2020

Bei einer radialen Messung wird der Erfassungsbereich ermittelt, wenn sich eine Person auf einer Gerade vom Ende des Erfassungsbereichs direkt auf den Sensor zu bewegt (siehe Abb. 5 grüne Messdaten). Dabei wird der ganze Winkelbereich des Sensors geprüft bei dem der Dummy für jeden Winkel (typ. 10° Schritte) mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf den Sensor zu bewegt wird. Durch die Aufzeichnung der Dummyposition zum Sensor bei einer Auslösung kann der radiale Erfassungsbereich im Anschluss in einem Polardiagramm dargestellt werden.

Bei einer tangentialen Bewegungsmessung wird der Sensor auf einen definierten Winkel und Position eingestellt. Der Dummy bewegt sich quer bzw. parallel am Sensor vorbei (typ. ±0.5 m in jede Richtung zentrisch zur Sensorbewegungsachse). Eine Rasterdarstellung zeigt den gemessenen Sensitivitätsbereich des Sensors. Bei der Ermittlung des maximalen tangentialen Erfassungsbereiches (siehe Abb. 6 orange Messdaten) wird die Sensorposition ermittelt, bei welcher ein Verfahren des tangentialen Dummies eine Sensorauslösung verursacht. Dabei ist der tangentielle Verfahrensweg abhängig von der Sensorposition und beträgt stets ±5° (totaler tangentialer Verfahrensweg nie < 1 m). Diese Messung wird an definierten Winkelpositionen (typ. 10° Winkelschritte) des Sensors in 360° durchgeführt und in einem Polardiagramm dargestellt.

7: Als Beispiel die Darstellung einer Präsenzmessung mit entsprechender idealisierten geometrischen Form (blauer Kreis) unter Berücksichtigung des 15%-Kriteriums.

Für die Präsenzmessung wird der Testarm an die radiale Achse geschoben, so dass der Drehpunkt des Testarmes zentrisch auf der Sensorachse an der Sensorposition 0 m zu liegen kommt. Durch die Ausführung der 90°-Bewegung in horizontaler Richtung bei den bestimmten Winkel- und Sensorpositionen kann eine Rasterdarstellung als Abbild des Präsenzbereichs erzeugt werden (siehe Abb. 7). Anschliessend werden die Präsenzmessung für die vertikale Bewegungsrichtung wiederholt und beide Resultate werden in einer kombinierten Rasterdarstellung repräsentiert. Diese gibt darüber Auskunft, ob der Sensor eine Bewegung an der jeweiligen Messposition detektiert hat.



Zum Schluss werden eine idealisierte geometrische Form beispielsweise ein Kreis über die Messdaten gelegt und die Parameter (bei einem Kreis der Radius) bestimmt, bei welchen gemäss der Norm maximal 15 % der Messpunkte innerhalb dieses Kreises keine Detektion festgestellt werden konnte (siehe blaue Kreise in Abb. 5–7).

Alle Messresultate werden in einem digitalen Messbericht zusammengefasst, um die Daten in gängigen Datenformaten für die maschinenlesbare Weiterverarbeitung in Planungs- und Designprogrammen zur Verfügung zu stellen.

Ausblick

Die Messinfrastruktur ist momentan darauf ausgerichtet, passive Infrarotsensoren gemäss den Anforderungen der heute verfügbaren Normen auszumessen. Die Weiterentwicklung von Sensoren zur Lichtsteuerung geht in Richtung aktive Sensoren, welche Ultraschall- oder Hochfrequenzstrahlung aussenden und die von der Umgebung reflektierte Strahlung wieder detektieren und analysieren.

Um auf die zukünftigen Entwicklungen dieser aktiven Sensoren vorbereitet zu sein, wird die Anlage dahingehend weiterentwickelt.

Referenzen

- [1] Leitfaden für den Einsatz von Sensorik in Lichtenwendungen, Schweizerische Licht Gesellschaft und sensNORM, 2019, Rev. 5
- [2] <http://www.sensnorm.com/de/>, zuletzt besucht: 28.02.2021
- [3] IEC 63180:2020 Methods of measurement and declaration of the detection range of detectors – Passive infrared detectors for major and minor motion detection, IEC, Genf, 2020

Kontakt:
Dr. Florian Stuker
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Labor Optik
florian.stuker@metas.ch
+41 58 387 01 20



sensLAB – détecteurs de mouvements et de présence au banc d'essai

Les capteurs de mouvement et de présence ont un rôle de plus en plus important dans la technique d'éclairage moderne. Ils permettent de gérer selon la situation et les besoins les éclairages dans les espaces intérieurs et extérieurs et peuvent en même temps contribuer de manière significative à réduire la consommation énergétique. Des capteurs performants ont été mis au point ces dernières années; ils permettent une gestion précise et fiable des éclairages.

La qualité et les performances des capteurs se distinguent par des caractéristiques comme la sensibilité, la portée et la fiabilité. Certes, des étalons de contrôle ont été définis récemment sous la houlette de l'association des fabricants européens de capteurs sensNORM afin de disposer d'une qualification uniforme. Toutefois, les contrôles à proprement parler n'ont jusqu'à maintenant été réalisés que par quelques fabricants eux-mêmes.

Contrôler un capteur consiste à établir si le capteur détecte le mouvement d'un fantôme chauffé qui s'approche et s'éloigne du capteur selon des directions différentes et à des conditions définies. L'installation de METAS effectue en grande partie de manière automatique les procédures d'examen prévues pour les différents types de capteurs.

sensLAB – Sensori di movimento e di presenza sul banco di prova

I rilevatori di movimento e di presenza stanno diventando sempre più importanti nella moderna tecnologia dell'illuminazione. Essi consentono di controllare le condizioni di illuminazione situazionali e in funzione del fabbisogno negli ambienti interni ed esterni, contribuendo in modo significativo al risparmio energetico. Negli ultimi anni sono stati sviluppati sensori efficienti che permettono un controllo preciso e affidabile dell'illuminazione.

La qualità e l'efficienza dei sensori si contraddistinguono per caratteristiche quali ad esempio la sensibilità, la portata e l'affidabilità. Per garantire una qualificazione uniforme, sotto la guida dell'associazione dei produttori europei di sensori sensNORM sono stati recentemente stabiliti standard di prova. I test veri e propri, tuttavia, sono stati finora effettuati solo da alcuni produttori stessi.

Testare un sensore significa determinare se il sensore rileva il movimento di un fantoccio riscaldato, che si avvicina al sensore da diverse direzioni e in condizioni definite e se ne allontana di nuovo. L'impianto del METAS esegue le procedure di test previste per i diversi tipi di sensori in modo in gran parte automatizzato.

sensLAB – Putting motion and presence sensors to the test

Motion and presence sensors are increasingly important in today's lighting technology. They can be used to control lighting conditions in indoor and outdoor spaces depending on the current situation and requirements. At the same time, they can also help to save energy. In recent years, for example, high-performance sensors have been developed for precise and dependable lighting control.

The quality and performance of sensors are based on parameters such as their sensitivity, range and dependability. To support uniform qualification procedures, a set of test standards was recently defined under the auspices of sensNORM, the association of European sensor manufacturers. Until now, however, the actual tests were only performed by a few of the manufacturers themselves.

The test procedure involves determining whether the sensor correctly detects movement of a heated test dummy that approaches and moves away from the sensor in different directions under defined conditions. The METAS system performs the defined test procedures for different sensor types on a largely automated basis.

Luftqualitätssensoren kalibrieren, Algorithmen trainieren

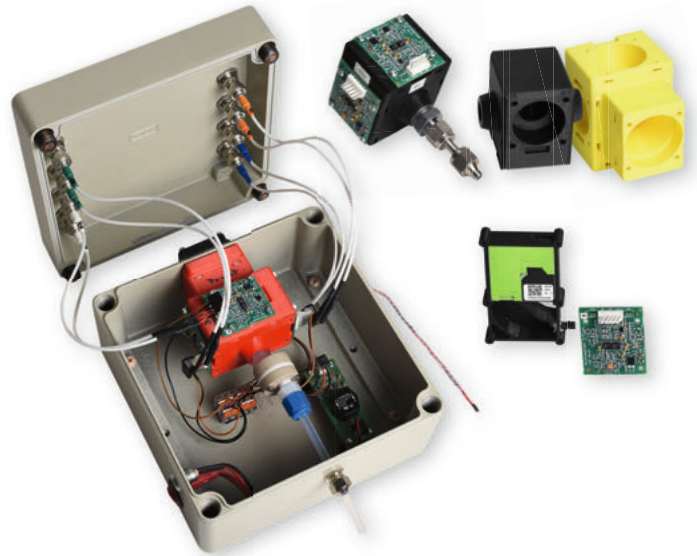
Neun von zehn Menschen weltweit atmen Luft ein, die nicht den Vorgaben der WHO entspricht. Messstationen zur Bestimmung von Luftschadstoffen existieren seit geraumer Zeit. Sie sind aber gross, teuer und daher wenig verbreitet. Modulare Low-Cost-Sensoren könnten in Zukunft Ergebnisse in Echtzeit liefern, um die Luftqualität räumlich und zeitlich präziser aufzulösen. Das METAS nutzt sein Wissen und Infrastruktur, um solche Sensoren zu kalibrieren und deren Algorithmen zu trainieren.

GEORGI TANCEV

Laut der Weltgesundheitsorganisation WHO lassen sich weltweit 4,2 Millionen Tote pro Jahr auf die Luftverschmutzung zurückführen. Mehr als 91 % der Menschen weltweit leben in Gebieten, in denen die Luftqualität nicht den Vorgaben der WHO entspricht. Allein in Europa könnten jährlich bis zu 70 000 frühzeitige Tode verhindert werden, wenn die Menge an Feinstaub auf die von der WHO empfohlenen Grenzwerte reduziert würden [1]. Durch die Reduktion von Stickstoffdioxid wären es laut einer Lancet-Studie immerhin noch 2 500 Menschenleben, die gerettet werden könnten. Damit ist und bleibt Luftqualität ein aktuelles Thema, selbst in Europa, wo im weltweiten Vergleich die Luft als eher rein gilt.

Bessere Auflösung in Raum und Zeit

In den Städten sind die räumliche und zeitliche Auflösung der Messungen von Luftschadstoffmengen eher gering, deswegen besteht gegenwärtig grosses Interesse an preiswerten Lösungen, um diese Auflösung zu erhöhen. In den letzten Jahren wurde daher viel an potenziellen günstigen Produkten zur Luftqualitätsüberwachung geforscht und gearbeitet. Diese sollen Teil des sogenannten «internet of things» sein und in Echtzeit Ergebnisse liefern. Als essenzielle Bauteile dürfen hierbei Gas- (CO, NO, NO₂, O₃) und Aerosolsensoren (PM2.5, PM5, PM10) nicht fehlen. Solche Sensoren sind relativ günstig (zwischen 50 und 250 Franken), liefern dafür aber auch eher unzuverlässige Messresultate. Beispielsweise sind Gassenso-



2: Modulare Low-Cost-Sensoren liefern im «Internet der Dinge» Ergebnisse in Echtzeit, um die Luftqualität räumlich und zeitlich genauer zu überwachen.

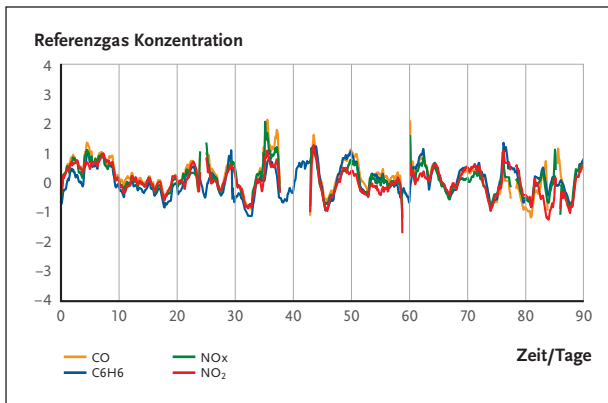
ren anfällig für Interferenzen mit beliebigen Gasen, aber auch mit Umweltfaktoren wie Luftfeuchtigkeit und Temperatur, wobei jeder Sensor etwas anders reagiert. Um dem entgegenzuwirken, werden meistens mehrere unterschiedliche Sensoren in einem einzelnen Gerät verbaut (der Fachbegriff lautet hierbei «sensor fusion») und die Effekte auskorrigiert. Aufgrund von raschen Alterungsprozesse müssen die Geräte allerdings auch im Vergleich öfter recalibriert werden.

Vorausschauende Wartung

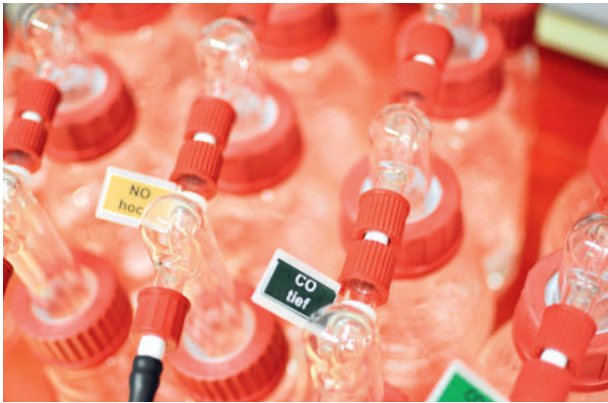
Hierfür bedarf es jedoch einer Kalibrierung, die gegenwärtig meist mit Felddaten vollzogen wird, so zum Beispiel durch das Platzieren der Geräte neben Referenzstationen während einiger Tage oder Wochen. Mit den gesammelten Daten werden dann mathematische Modelle mittels der Trickkiste des maschinellen Lernens (eines Teilgebietes der künstlichen Intelligenz (KI) und Datenwissenschaft/«data science») erstellt und in die Software programmiert. Als Forschungspartner unterstützt das METAS gegenwärtig ein solches Unterfangen. Gemeinsam mit LNI Swissgas und der Dienststelle für Luft, Lärm und nichtionisierende Strahlung (SABRA) des Kantons Genf in einem durch Innosuisse geförderten Projekt. Auf der einen Seite offeriert das METAS Kompetenz in der Evaluation der Sensoren; auf der anderen Seite wird neu auch im Bereich des



1: Selbst in der Schweiz, wo im weltweiten Vergleich die Luft als eher rein gilt, bleibt die Luftqualität Thema.



3: Durch Standardisierung der Messresultate wird deutlich, dass die Schadstoffe im Feld korreliert sind, da sie dieselben Verläufe aufweisen. Durch Feldkalibration kann es daher vorkommen, dass ein Sensor plötzlich alle Schadstoffe «misst».



4: In der Gasanalytik ist angepeilt, einen Experimentalaufbau zu installieren, mit welchem ein Satz an Messgeräten parallel und automatisiert kalibriert werden kann, wobei mögliche Interferenzen für alle Sensoren eruiert werden sollen.

maschinellen Lernens unterstützt, beispielsweise in der Evaluation von möglichen Algorithmen. Weiter wird ebenfalls an vorausschauender Wartung (auch prädiktiver Wartung vom Englischen «predictive maintenance») geforscht, womit Geräte die Nutzer informieren würden, sobald sie recalibriert werden müssten. Das ist insofern interessant, da Rekalibrationsintervalle für jede Einheit optimiert werden könnten, wobei so im Betrieb von Sensornetzwerken die Kosten reduziert würden.

Richtige Korrelationen erkennen

Neuere Studien vom METAS haben nun allerdings aufzeigen können, dass die Daten, die die Basis für die Korrekturmodelle bilden, räumlich und zeitlich gebunden sind und die Kalibrierungen selten repräsentativ sind, was zu unzuverlässigen Messresultaten führen kann. Das zugrundeliegende Problem sind die Korrelationen zwischen den verschiedenen Faktoren in der Atmosphäre. Das kann dazu führen, dass ein CO-Sensor plötzlich NO₂ «messen» kann, weil beide Schadstoffe ähnliche Zeitverläufe aufweisen. Sobald sich die Beziehungen zwischen den Stoffen ändern, sei es aufgrund von räumlicher

oder zeitlicher Verschiebung, kommt es zu falschen Messergebnissen. Wenn die CO-Menge sinkt, sinkt dann scheinbar auch die NO₂-Menge gemäss den Modellen.

Dieses Problem ist allgegenwärtig im KI-Bereich. Die Rolle der Algorithmen liegt darin, die Information in den Daten zu einfachen Regeln zu komprimieren. Wenn nun CO und NO₂ dieselben Verläufe aufweisen, dann ist das eine Regel, die gelernt wird (Grafik 3). Deswegen wird in diesem Bereich auch an Techniken geforscht, um solche Phänomene frühzeitig zu erkennen. Denn grundsätzlich gilt, dass jedes Modell nur so gut ist, wie die dafür verwendeten Daten. Um die beschriebenen Herausforderungen zu lösen, wird im Moment am METAS an neuen Anlagen und Messgeräten geforscht, die effizient, das heisst in möglichst wenigen Experimenten, solche Daten erzeugen sollen.

Lernen mit experimentellem Design

Dies ist insofern von Bedeutung, da viele Faktoren gleichzeitig variiert werden müssen, beispielsweise Temperatur und Feuchtigkeit, aber auch die verschiedenen Gaskonzentrationen. Des Weiteren dürfen in diesen Daten natürlich keine künstlichen Korrelationen bestehen, daher bedient man sich der Methoden des experimentellen Designs, um optimale Kombination der Faktoren zu bestimmen und dies zu vermeiden. Dank seiner langjähriger Erfahrung in der Gas- und Partikel-Messtechnik bietet das METAS das meiste der nötigen Infrastruktur bereits an, um solche anspruchsvollen Experimente durchzuführen. Beispielsweise können Feinstäube nach Mass produziert werden (METinfo 1/2020). Die neue Anlage (PALMA) produziert «natürlichen» Feinstaub, wie er in der Umgebungsluft vorkommt. Bei den erzeugten Mehrkomponenten-Aerosole lassen sich Temperatur, Partikelgrössenverteilung, chemische Zusammensetzung und Massenkonzentration unabhängig variieren.

Literatur

- [1] [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(20\)30272-2/fulltext#section-3d6acba1-acea-4be2-8dc9-b7e14e5b6583](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(20)30272-2/fulltext#section-3d6acba1-acea-4be2-8dc9-b7e14e5b6583)
- [2] <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/21/6198>
- [3] <http://dx.doi.org/10.1038/s42256-019-0048-x>

Kontakt:
Georgi Tancev
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Labor Gasanalytik
georgi.tancev@metas.ch
+41 58 387 04 81



Calibrage de capteurs de qualité de l'air, entraînement d'algorithmes

L'Organisation mondiale de la santé OMS estime que 4,2 millions de personnes perdent chaque année la vie dans le monde à cause de la pollution de l'air. Plus de 91% de la population mondiale vit dans des espaces dont la qualité de l'air ne satisfait pas aux prescriptions de l'OMS. Les stations de mesure des molécules de gaz et poussières fines dans l'air des villes existent depuis un certain temps déjà. Elles sont toutefois volumineuses, chères et donc peu répandues.

Voilà pourquoi, ces dernières années, un grand nombre d'instruments de mesure composés de capteurs de gaz et particules fines plus petits et moins onéreux ont été développés. Les coûts et dimensions moindres ont permis de réunir un grand nombre de capteurs, qui à l'aide de l'Internet des choses ont constitué un réseau de mesure dense fournissant, en temps et en lieu, des données de haute résolution sur la qualité de l'air.

Des questions sur la sensibilité et les interférences possibles avec d'autres grandeurs, sur la constance temporelle des valeurs de mesure (signal drift) et sur l'incertitude de mesure sont toutefois soulevées. Dans ce contexte, le laboratoire Analyse de gaz de METAS s'est joint à un projet soutenu par Innosuisse qui comprend le partenaire industriel LNI Swissgas et le Service de l'air, du bruit et des rayonnements non ionisants (SABRA) du canton de Genève. L'objectif est de combiner en un appareil les capteurs de polluants avantageux. Des méthodes d'intelligence artificielle permettront de filtrer les aberrations et interférences dans les mesures de divers gaz. Un autre objectif est la caractérisation efficace en métrologie du nouvel appareil et le développement d'un calibrage simple du réseau de capteurs au moyen des méthodes du design expérimental.

Tarare i sensori della qualità dell'aria, addestrare gli algoritmi

Secondo l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) 4,2 milioni di morti all'anno in tutto il mondo possono essere attribuiti all'inquinamento atmosferico. Oltre il 91% delle persone in tutto il mondo vive in aree in cui la qualità dell'aria non soddisfa gli standard dell'OMS. Da tempo esistono stazioni di misura per la determinazione delle molecole di gas nocivi e delle polveri sottili nell'aria. Tuttavia, esse sono grandi, costose e quindi poco diffuse.

Per questi motivi, negli ultimi anni è stato sviluppato un gran numero di strumenti di misurazione costituiti da sensori di gas e di polveri sottili più piccoli ed economici. Grazie ai costi inferiori e alle dimensioni ridotte un'ampia gamma di sensori potrebbe essere interconnessa per formare una rete di misurazione a maglia fine con l'ausilio dell'Internet degli oggetti, fornendo dati ad alta risoluzione sulla qualità dell'aria e questo nello spazio e nel tempo.

Tuttavia, sorgono domande sulla sensibilità e sulle possibili interferenze con altre variabili, sulla costanza temporale dei valori misurati (deriva del segnale) e sull'incertezza di misura. In questo contesto, il laboratorio Analisi di gas del METAS ha collaborato con il partner industriale LNI Swissgas e con il Service de l'air, du bruit et des rayonnements non ionisants (SABRA) (Servizio dell'aria, del rumore e delle radiazioni non ionizzanti) del Canton Ginevra in un progetto finanziato da Innosuisse. L'obiettivo è quello di combinare i sensori a basso costo di sostanze inquinanti in un unico dispositivo. I metodi di intelligenza artificiale devono essere utilizzati per filtrare i valori anomali e le interferenze durante la misurazione dei diversi gas. Un altro obiettivo è l'efficiente caratterizzazione metrologica del nuovo dispositivo e lo sviluppo di una semplice taratura della rete di sensori utilizzando metodi del cosiddetto design sperimentale.

Calibrating air quality sensors, training algorithms

According to the World Health Organization (WHO), 4.2 million deaths worldwide per year can be attributed to air pollution. Over 91% of the global population lives in regions where the air quality does not meet WHO standards. Measuring stations for assessment of hazardous gas molecules and particulate matter in the air have been available for some time now. However, the existing stations are large and expensive – and thus not widely used.

Accordingly, various measuring devices have been developed in recent years that use smaller, inexpensive gas and particulate matter sensors. Thanks to their lower cost and smaller size, a large number of these sensors could be interconnected via the Internet of Things into a dense monitoring network that is capable of supplying high-resolution air quality data, in space and time.

However, there are questions regarding the sensitivity, potential interference with other quantities, time constancy of the measured values (signal drift), and measurement uncertainty. In this context, the Gas Analysis laboratory at METAS has joined forces with an industrial partner, LNI Swissgas, and the Office for Air, Noise and Non-ionising Radiation (SABRA) of the Canton of Geneva in a project funded by Innosuisse. The goal is to combine these inexpensive pollutant sensors in a single device. Artificial intelligence will be used to filter out any outliers and interference during measurement of various gases. Another goal is to facilitate efficient metrological characterisation of this new device and develop a simple calibration procedure for the sensor network using techniques from experimental design.

Das METAS analysiert Desinfektionsmittel

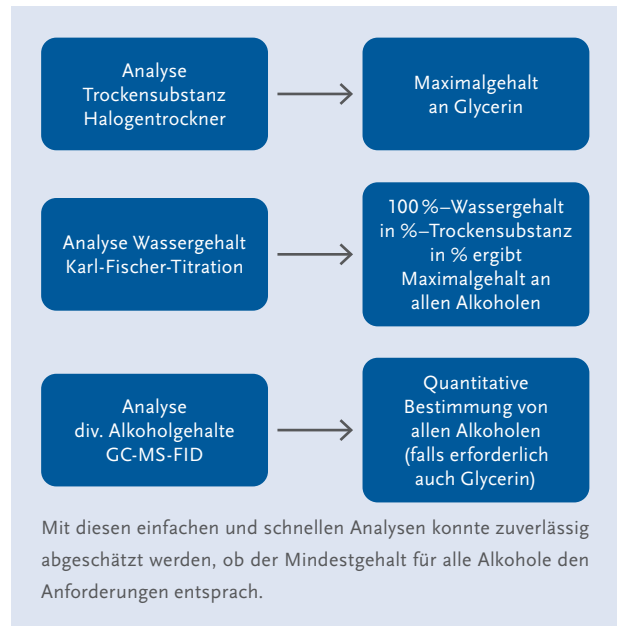
Die rasche Ausbreitung des Coronavirus verursachte in der Schweiz anfänglich Engpässe bei Desinfektionsmitteln. Dank den vom Bund erlassenen Allgemeinverfügungen wurden innerhalb kurzer Zeit viele neue Desinfektionsmittel auf den Markt gebracht. Das METAS untersuchte im Auftrag des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) 86 Händedesinfektionsmittel und fand lediglich bei 3 Prozent eine fragliche Wirksamkeit.

GISELA UMBRICHT UND BRUNO BÄRTSCHI

Anfang 2020 hörten die meisten von uns wohl zum ersten Mal von einem Virus namens Corona. Wir haben anfänglich nicht geahnt, dass SARS-CoV-2 dermassen unser privates, aber auch geschäftliches Leben beeinflussen wird. Um uns vor einer Ansteckung zu schützen, wurden vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) verschiedene Regeln aufgestellt, unter anderem: regelmässig die Hände waschen oder gegebenenfalls auch desinfizieren. Diese Empfehlung wurde von der Bevölkerung umgesetzt mit der Folge, dass es kurzfristig Engpässe bei Händedesinfektionsmitteln in der Schweiz gab. Um diesem Mangel schnell zu begegnen und die Produktion sowie das Inverkehrbringen zu vereinfachen, erliess die «Anmeldestelle Chemikalien», sie ist die gemeinsame Anlauf- und Verfügungsstelle für Chemikalien des BAFU, BAG und SECO, darauf Allgemeinverfügungen für Ausnahmezulassungen für Desinfektionsmittel. In der ersten Allgemeinverfügung ging es in erster Linie darum, die Zulassungspflicht für bestimmte Desinfektionsmittel (Hände- und Flächendesinfektionsmittel auf alkoholischer Basis) bis zum 31. August 2020 auszusetzen. Dadurch konnten viele neue Produzenten von Händedesinfektionsmitteln ihre Produkte rasch auf dem Schweizer Markt platzieren und auch erfolgreich verkaufen. Um die Sicherheit der Anwender zu gewährleisten, organisierte das BAG eine Kampagne zur Überprüfung der Zusammensetzung von Händedesinfektionsmitteln. Das METAS führte die Analysen im Rahmen des Zusammenarbeitsvertrags zur analytischen Kontrolle von chemischen Produkten durch.



1: Desinfektionsmittel: Einerseits muss sichergestellt werden, dass sie wirksam sind, andererseits dürfen sie keine Gefahr für die Anwender darstellen.



Effiziente Alkoholanalytik für Desinfektionsmittel

Das BAG hat zusammen mit den Kantonen Händedesinfektionsmittel auf Alkoholbasis erhoben und dem METAS zur Analyse zugestellt. Die Analysen sollten zeigen, dass die Produkte den Anforderungen ihrer Zulassung, bzw. der Allgemeinverfügung erfüllen [1]. Sie sieht folgende generelle Zusammensetzung dieser Händedesinfektionsmittel vor [2], [3]:

- 70–80 % Ethanol oder
- 60–80 % 1-Propanol oder
- 60–80 % 2-Propanol oder
- 60–80 % Gemische der vorgenannten Alkohole; und
- ≤ 0,5 % andere Hilfsstoffe wie z.B. Parfüm, Farbstoffe oder Glycerin; und
- ≤ 2 % Methylethylketon; oder
- ≤ 5 % 2-Propanol als Vergällungsmittel; und
- X % Wasser.

Um die Analysen möglichst effizient durchzuführen wurde bei allen Muster zunächst der Wassergehalt mittels Karl-Fischer-Titration und die Trockensubstanz mit einem Halogentrockner bestimmt. Bei den gewählten Bedingungen für die Trockensubstanzbestimmung wurde die Menge an zugesetztem Glycerin in der Trockensubstanz miterfasst.

2: Das METAS unterstützt mit seinen Dienstleistungen die Behörden, zum Beispiel bei der Überprüfung der Sicherheit der eingesetzten Händedesinfektionsmittel.



Die exakte Zusammensetzung der Alkohole wurde, falls erforderlich, mittels Gaschromatographie mit Flammenionisations- und Massendetektor bestimmt (GC-MS-FID). Zudem wurde zur Bestätigung der Analysenwerte mittels quantitativer Infrarot-Spektrometrie (multivariate Methode) der Ethanol- und, gegebenenfalls, der Isopropanolgehalt bestimmt. Dies stellt eine unabhängige Methode zur Gaschromatographie dar, und somit eine zusätzliche Absicherung der Resultate, da die Matrix bei den Produkten nicht einheitlich war und somit kritische Resultate durch Plausibilisierung der Resultate anhand von unabhängigen Messmethoden sichergestellt werden konnte. Der Glyceringehalt wurde nur mittels GC-MS-FID quantifiziert, falls die Trockensubstanz über dem kritischen Wert von 0.5 % lag. So konnte der benötigte Analysenaufwand auf ein Minimum reduziert werden.

Auch in Zukunft auf das METAS zählen

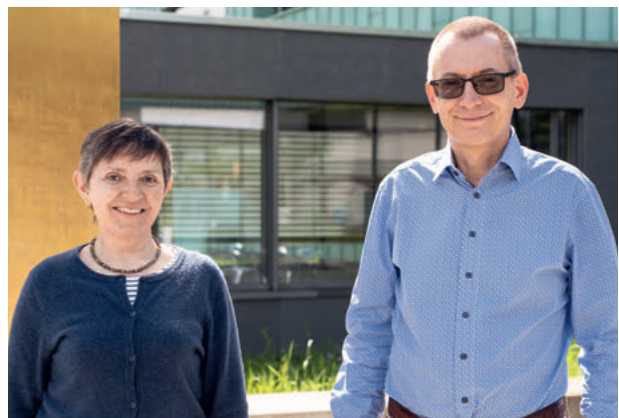
Im Zeitraum von Mai bis Oktober 2020 wurden 86 Händedesinfektionsmittel untersucht. Zwar erfüllten nur 80 % der untersuchten Muster hinsichtlich ihrer Zusammensetzung die Vorgaben ihrer Zulassungsverfügung bzw. diejenigen der Allgemeinverfügung über das Inverkehrbringen alkoholischer Desinfektionsmittel. Des Öfteren war ein zu hoher Glyceringehalt oder andere Zusatzstoffe der Grund für Abweichungen. Generell kann aber festgehalten werden, dass bei lediglich 3 % der Produkte die Wirksamkeit als Desinfektionsmittel fraglich war. Für die Gesundheit der Anwender bestand jedoch nie eine Gefahr. Die vollständige Auswertung der Resultate erfolgte durch das BAG [2]. Trotz der durch die Coronapandemie verursachten Auswirkungen auf den Arbeitsalltag des METAS konnte die BAG-Kampagne schnell und zuverlässig unterstützt werden. So konnte das METAS die Bemühungen des BAGs unterstützen, die Sicherheit der eingesetzten Händedesinfektionsmittel zu überprüfen.

Referenzen

- [1] BBI 2020 1561 «Allgemeinverfügung der Anmeldestelle Chemikalien über die Zulassung von Biozidprodukten zur Bewältigung von Ausnahmesituationen nach Artikel 30 VBP»
- [2] Desinfektionsmittel nach dem Ausbruch des Coronavirus, Peter Krähenbühl Abteilung Chemikalien Bundesamt für Gesundheit, www.bag.admin.ch.
- [3] Zitat aus [2] «In der Allgemeinverfügung zu alkoholischen Desinfektionsmitteln wurde nicht spezifiziert, ob es sich bei den Gehaltsangaben um Gewichts- oder Volumenprozent handelt. Das bedeutete, dass beides möglich war bzw. dass entweder die Gewichts- oder die Volumenprozent die Vorgaben erfüllen mussten. Dies musste bei der Auswertung der Daten entsprechend berücksichtigt werden.»

Kontakt:
Dr. Gisela Umbricht
Laborleiterin Chemische und biologische Referenzen
gisela.umbricht@metas.ch
+41 58 387 05 81

Bruno Bärtschi
Technischer Mitarbeiter Labor Chemische
und biologische Referenzen



METAS analyse les désinfectants

La propagation rapide du coronavirus a provoqué, au départ, une pénurie de désinfectants en Suisse. Grâce à des décisions de portée générale établies par la Confédération, de nombreux nouveaux désinfectants ont été mis sur le marché en très peu de temps. Entre mai et octobre 2020, 86 désinfectants pour les mains ont été analysés. Seuls 80% des échantillons analysés remplissaient, quant à leur composition, les exigences prévues dans leur autorisation et dans la décision de portée générale concernant la mise sur le marché de désinfectants à base d'alcool.

Dans de nombreux cas, les écarts étaient dus à une teneur trop élevée en glycérine ou en d'autres additifs. Toutefois, en général, on peut retenir que l'efficacité en tant que désinfectant était incertaine pour seulement 3% des produits. Cependant, il n'y a jamais eu de danger pour la santé des utilisateurs. L'évaluation complète des résultats a été réalisée par l'OFSP. Malgré l'impact de la pandémie de coronavirus sur le quotidien de METAS, la campagne de l'OFSP a pu être soutenue de manière rapide et fiable. METAS a ainsi pu soutenir les efforts de l'OFSP pour vérifier la sécurité des désinfectants utilisés pour les mains.

Il METAS analizza i disinfettanti

La rapida diffusione del coronavirus ha inizialmente causato una carenza di disinfettanti in Svizzera. Grazie alle decisioni di portata generale adottate dalla Confederazione, in breve tempo sono stati immessi sul mercato molti nuovi disinfettanti. Nel periodo da maggio a ottobre 2020 sono stati esaminati 86 disinfettanti per le mani. È vero che solo l'80% dei campioni esaminati soddisfaceva i requisiti della propria decisione di omologazione o quelli della decisione di portata generale per l'immissione sul mercato di disinfettanti alcolici. Un contenuto di glicerina troppo alto o altri additivi erano spesso la ragione delle deviazioni.

In generale, tuttavia, si può affermare che l'efficacia come disinfettante era discutibile solo nel 3% dei prodotti. La salute degli utilizzatori non è però mai stata messa a repentaglio. La valutazione completa dei risultati è stata effettuata dall'UFSP. Nonostante l'impatto della pandemia di coronavirus sul lavoro quotidiano del METAS, la campagna dell'UFSP è stata supportata in modo rapido e affidabile. Il METAS ha così potuto sostenere gli sforzi dell'UFSP per verificare la sicurezza dei disinfettanti per le mani utilizzati.

METAS analyses disinfectant

The rapid spread of the coronavirus initially caused shortages of disinfectant in Switzerland. Several new disinfectants were introduced on the market within a short period of time thanks to the general rulings issued by the Swiss Confederation. In the period between May and October 2020, 86 hand disinfectants were examined. In fact, only 80% of the samples examined met the specifications of their approval ruling or those of the general ruling for the marketing of alcoholic disinfectants, with regard to their composition. In many cases, too high a glycerine content or other additives were the reason for differences.

Generally, however, it can be stated that efficacy as a disinfectant was only debatable in 3% of the products. However, there was never any risk to the health of users. The results were fully evaluated by the FOPH. Despite the impact on the daily work of METAS caused by the COVID-19 pandemic, the FOPH campaign was supported quickly and reliably. METAS was thus able to support the FOPH's efforts in checking the safety of the hand disinfectant used.

Weiterbildungskurse 2021 | Cours 2021

Principes de base en métrologie

Le cours propose une introduction à la métrologie et dispense les connaissances de base pour la mise en œuvre des exigences techniques les plus importantes de la norme ISO 17025. Il fournit aussi les connaissances de base nécessaires aux cours spécifiques de METAS.

Date: 31 mai 2021

Messunsicherheit und Konformitätsbewertung

Der Kurs ermöglicht den Teilnehmerinnen und Teilnehmern, die Konformität eines Produktes oder eines Messresultates zuverlässig zu beurteilen, unter anderem mittels Abschätzung der Konformitätswahrscheinlichkeit, Festlegung von Annahmintervallen und Durchführung von Risikoanalysen.

Datum: 15.–16. Juni 2021

Messunsicherheit in der analytischen Chemie und Biologie

Der Kurs ermöglicht den Teilnehmerinnen und Teilnehmern, Messungen nach metrologischen Grundsätzen zu beurteilen und hilft den eigenen Messprozess zu modellieren, sowie eine fundierte und normenkonforme Messunsicherheitsbilanz aufzustellen.

Daten: 22.–23. Juni 2021

Weg-Zeit-Analyse von Videoaufnahmen

Im Kurs wird anhand von Praxis-Beispielen die Weg-Zeit-Analyse zur Bestimmung der gefahrenen Geschwindigkeit von in Videoaufnahmen sichtbaren Fahrzeugen behandelt. Es werden verschiedene mögliche Fehlerquellen diskutiert und die Berücksichtigung der Messunsicherheit wird behandelt. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer erhalten die von der Kursleitung verwendeten Software-Tools und haben die Gelegenheit diese im Selbststudium zwischen den Sessionen auf Übungsbeispiele anzuwenden.

Daten: 23. August 2021 (Online)
25. August 2021 (Online)
27. August 2021 (am METAS)

Principes de base en incertitude de mesure

Les participants sont capables d'analyser de manière indépendante leur processus de mesure et de réaliser un bilan d'incertitude de mesure correct et conforme aux normes. La théorie est mise en pratique au travers d'une expérience physique.

Date: 21 – 22 septembre 2021

Längenmesstechnik – Endmasse, Lehren und Handmessmittel

Der Kurs ermöglicht den Teilnehmerinnen und Teilnehmern, die allgemeinen Grundlagen der Längenmesstechnik in Theorie und Praxis kennen zu lernen und dimensionelle Messungen korrekt durchzuführen, auszuwerten und zu dokumentieren.

Daten: 22.–23. September 2021

VNA Tools training course

VNA Tools is a free software developed by METAS for measurements with the Vector Network Analyzer (VNA). The software facilitates the tasks of evaluating measurement uncertainty in compliance with the ISO-GUM and vindicating metrological traceability. The software is available for download at www.metas.ch/vnatools. The three day course provides a practical and hands-on lesson with this superior and versatile software.

Date: June 29 to July 1, 2021
(VNA expert day on July 2, 2021)
September 7 to 9, 2021
(VNA expert day on September 10, 2021)
November 9 to 11, 2021
(VNA expert day on November 12, 2021)
September 21 to 23, 2021
(Location: Beaverton OR, USA)

Inzwischen können mit einem Schutzkonzept wieder Kurse vor Ort am METAS durchgeführt werden. Aufgrund der ungewissen Entwicklung der Lage im Zusammenhang des Coronavirus (Covid-19) können wir zum jetzigen Zeitpunkt nicht mit Sicherheit sagen, ob alle Veranstaltungen wie geplant, durchgeführt werden können. Auf www.metas.ch/kurs werden wir die Informationen zu den Kursen laufend aktualisieren. Wir danken Ihnen für Ihr Verständnis für diese besondere Ausgangslage. Für allfällige Fragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Entre-temps, des cours peuvent de nouveau être organisés sur place à METAS avec un plan de protection. En raison de l'évolution incertaine de la situation en lien avec le coronavirus (COVID-19), nous ne pouvons pas, à l'heure actuelle, dire avec certitude si toutes les manifestations pourront se dérouler comme prévu. Nous actualiserons régulièrement les informations relatives aux cours sur www.metas.ch/cours. Nous vous remercions pour votre compréhension suite à cette situation particulière. Nous restons à votre disposition pour toute question.

Weitere Informationen und Hinweise zur Anmeldung finden Sie auf unserer Internetseite (www.metas.ch/kurs).

Für zusätzliche Informationen zum Kursangebot wenden Sie sich an:
sekretariat@metas.ch oder Telefon 058 387 01 11

Vous trouverez d'autres renseignements et remarques sur l'inscription sur notre site Internet (www.metas.ch). Pour tout complément d'information sur l'offre de cours, veuillez vous adresser à:
sekretariat@metas.ch ou au 058 387 01 11

World Metrology Day



Measurement for Health



Bureau
International des
Poids et
Mesures



20 May 2021
www.worldmetrologyday.org

© BIPM-OIML 2021

