

Was bleibt zu tun?

Das revidierte Internationale Einheitensystem stellt sicher, dass bis in absehbare Zukunft Messungen im Einklang mit dem technologischen Fortschritt mit genügender Genauigkeit und Zuverlässigkeit durchgeführt werden können. Auf der Basis des SI gilt es die vielfältigen Herausforderungen an die Metrologie anzugehen. Diese berühren fast alle Aspekte des modernen Lebens.

BEAT JECKELMANN

Die Metrologie, die Wissenschaft des Messens, ist ein unverzichtbares Werkzeug sowohl für die wissenschaftliche Forschung und Entwicklung als auch für die technologische Innovation. Sie untermauert die industrielle Konkurrenzfähigkeit und unterstützt die Entwicklung von neuen, verbesserten Produkten und Prozessen. Durch exzellente wissenschaftliche Forschung trägt die Metrologie zu den grossen Fortschritten in der Wissenschaft bei. Der globale Handel und die Regulierung hängen wesentlich von international anerkannten Messungen und Normalen ab. Das Herz der benötigten metrologischen Infrastruktur bilden das Internationale Einheitensystem

(SI) und die internationale Übereinkunft zwischen den nationalen Metrologieinstituten zur gegenseitigen Anerkennung von nationalen Normalen und Kalibrierungen (CIPM-MRA).

Die rasanten technologischen Fortschritte und die wissensbasierte Gesellschaft verlangen nach noch genaueren und zuverlässigeren Messungen. Was wir nicht messen können, verstehen wir nicht richtig und können wir nicht zuverlässig kontrollieren, herstellen oder verarbeiten. Fortschritte in der Metrologie haben deshalb eine starke Auswirkung auf unsere Fähigkeit, unsere Umwelt zu verstehen und zu formen. >>>

Ein adäquates Einheitensystem ist die Grundvoraussetzung für die Erfüllung der anstehenden Aufgaben. Darüber hinaus benötigen die grossen gesellschaftlichen Herausforderungen wie die nachhaltige Energieversorgung, die Umwelt und die Gesundheit neue und zuverlässige Messtechnologien mit weltweit anerkannter Rückführbarkeit. Die fortlaufende Weiterentwicklung in der Metrologie ist essentiell, um die aktuellen und künftigen Bedürfnisse der Industrie, der Regulierung und der Politik zu decken. Anhand von sechs Beispielen soll aufgezeigt werden, was die Metrologie zu leisten vermag.

Ein adäquates Einheitensystem ist die Grundvoraussetzung für die Erfüllung der anstehenden Aufgaben. Darüber hinaus benötigen die grossen gesellschaftlichen Herausforderungen wie die nachhaltige Energieversorgung, die Umwelt und die Gesundheit neue und zuverlässige Messtechnologien mit weltweit anerkannter Rückführbarkeit. Die fortlaufende Weiterentwicklung in der Metrologie ist essentiell, um die aktuellen und künftigen Bedürfnisse der Industrie, der Regulierung und der Politik zu decken. Anhand von sechs Beispielen soll aufgezeigt werden, was die Metrologie zu leisten vermag.

Grundlagenforschung

Fortschritte in der Messtechnik und in der Messgenauigkeit spielen bei Entdeckungen an den Grenzen von Wissenschaft und Technik oftmals die entscheidende Rolle. So können die Grenzen der Gültigkeit von physikalischen Gesetzen mit Hilfe von genauen Messungen getestet werden. Die Stabilität von Atomuhren ist heute derart gut, dass z.B. die allgemeine Gravitationstheorie geprüft werden kann. Die Theorie besagt, dass eine Uhr in einem Gravitationsfeld von einem fernen Beobachter aus gesehen langsamer tickt als ausserhalb des Feldes. Auf der Erdoberfläche beträgt die relative Änderung in der Frequenz eines Frequenznormalen ca. 10^{-16} pro Meter Höhenunterschied. Eine solche Änderung kann mit modernen Atomuhren mit grosser Genauigkeit überprüft werden. Ein Traum der Physiker ist eine grosse vereinheitlichte Theorie, die alle Grundkräfte der Natur vereinigt. Diese Theorien sagen in der Regel ein Versagen der untergeordneten separaten Modelle unter bestimmten Bedingungen vor. So sieht die String-Theorie eine Änderung der Feinstrukturkonstante über lange Zeiträume vor. Diese Konstante beschreibt die Stärke der elektromagnetischen Wechselwirkung. Auch hier muss die Theorie mit den genauen Messungen der Atomuhren übereinstimmen. Die neusten Experimente ermitteln eine relative Änderung der Konstanten von weniger als 10^{-16} pro Jahr, ein Wert, mit dem sich alle neuen Theorien testen lassen.





« Darüber hinaus benötigen die grossen gesellschaftlichen Herausforderungen wie die nachhaltige Energieversorgung, die Umwelt und die Gesundheit neue und zuverlässige Messtechnologien mit weltweit anerkannter Rückführbarkeit. »

Gesundheit an erster Stelle

Das Spektrum des Messbaren ist riesig. Dabei ist uns die Messung physikalischer Grössen gut vertraut. Immer mehr rückt das Prinzip der vergleichbaren Messungen aber auch in Gebieten in den Fokus, wo dies traditionellerweise nicht der Fall war. Ein prominentes Beispiel ist das Gesundheitswesen. Bedingt durch den demographischen Wandel und die hohen und weiterhin stark steigenden Kosten ist die Sicherstellung der Gesundheitsvorsorge eine der grössten Herausforderungen in den nächsten Jahrzehnten. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass das Thema sowohl auf politischer Ebene als auch in vielen Forschungs- und Entwicklungsprogrammen weit vorne auf den Prioritätenlisten steht. Ein Trend in der Metrologie für die Gesundheit ist es, nicht nur Normale und die Rückführung zum SI sicherzustellen, sondern auch zur Entwicklung von verbesserten Messmethoden beizutragen. Das Ziel ist dabei nicht eine höchstmögliche Genauigkeit, sondern die Verbesserung der Qualität und Vergleichbarkeit von diagnostischen Resultaten und therapeutischen Ergebnissen. Nach Technologien geordnet und analysiert sind folgende Themenfelder mit Anforderungen an die Metrologie wichtig:

- Es findet ein Übergang zu einer personalisierten Medizin und patientennahe Diagnostik bzw. Point of Care Testing (POCT) statt. Damit steigen die Anforderungen an die Vergleichbarkeit und die Qualität der Patientendaten.
- Die Diagnostik chronischer Krankheiten, Krebs, neurodegenerativer und kardiovaskulärer Erkrankungen verbessert sich, sowohl durch verbesserte bildgebende als auch durch molekulare (z.B. genetische) Verfahren.
- Anerkannte Referenzmaterialien und Referenzmethoden sind notwendig, um die Vergleichbarkeit der Messresultate sicherzustellen. Biomarker und Messungen auf molekularer und zellulärer Ebene gewinnen an Bedeutung.

- Ein Übergang von einer rein qualitativen Bildanalyse zu einer rückführbaren Quantifizierung der Bilder würde die Diagnose stark verbessern. Daneben ist eine zuverlässige Metrologie für die Minimierung der Nebeneffekte notwendig.
- In der Strahlentherapie geht es einerseits um die zuverlässige Bestimmung der applizierten Dosis, andererseits zunehmend um die Quantifizierung der biologischen Wirkung.

Sichere Lebensmittel

Wir leben im Zeitalter des globalen Handels und sind uns gewohnt, Lebensmittel aus allen Ecken der Erde zu konsumieren. Für die ganze Nahrungskette und die Trinkwasserversorgung sind zur Einschätzung der Risiken, zur Qualitätskontrolle, zur Bestimmung von chemischen und mikrobiologischen Verunreinigungen und von genmanipulierten Organismen rückführbare Messungen notwendig. Standardisierte Messmethoden und Referenzmaterialien für die Lebensmittelsicherheit müssen laufend neu entwickelt und verbessert werden. Ein wichtiger Aspekt ist auch der Nachweis der Authentizität von Lebensmitteln. Landwirtschaftliche Produkte mit einer definierten Ursprungsbezeichnung erzielen einen erheblichen Mehrwert (AOC, IGP, Swissness). Für inländische Produzenten ist der Schutz der Authentizität daher von grösster Bedeutung. Neben dem geographischen Ursprung kann auch der biologische Ursprung den Wert eines Produktes stark beeinflussen, da zahlreiche ausländische Produkte aufgrund von Zollpräferenzen einen stark reduzierten Zollsatz geniessen. Um den geographischen oder biologischen Ursprung zu bestimmen, werden Isotopen-Analysemethoden oder biologische Verfahren wie die DNA-Analyse eingesetzt. Für zuverlässige Resultate braucht es zusätzlich geeignete Referenzmaterialien und eine umfangreiche Datenbank mit authentischen Proben.



« Die Stabilität von Atomuhren ist heute derart gut, dass z.B. die allgemeine Gravitationstheorie geprüft werden kann. »

Umwelt unter strenger Beobachtung

Eine intakte Umwelt ist zentral für die Gesundheit und das Wohlbefinden. Gesetzliche Vorschriften auf nationaler und europäischer Ebene sollen sicherstellen, dass die natürlichen Ressourcen sorgfältig und nachhaltig genutzt und die nachteiligen Effekte von Produktion und Konsum auf einem vertretbaren Niveau bleiben. Die wohl grösste Herausforderung ist der Klimawandel. Dabei ist es essentiell, dass die politischen Massnahmen zur Reduktion anthropogener Effekte auf das Klima auf solider Wissenschaft und zuverlässigen Klimamodellen basieren. Eine holistische Sichtweise basierend auf vergleichbaren Daten, die die Atmosphäre, die Ozeane und das Land als auch die solare und terrestrische Strahlung umfassen, ist unabdingbar für zuverlässige Klimaberechnungen. Die Metrologie hat eine wichtige Rolle zu spielen, damit Klimaänderungen verfolgt, verstanden und vorausgesagt werden können.

Die Metrologie hat sich traditionellerweise auf die Verbesserung der Einheitenrealisierung fokussiert. Im Umweltbereich sind weitergehende Aktivitäten erforderlich, um die Metrologie-Bedürfnisse der Schlüsselorganisationen wie der World Meteorological Organisation (WMO) nach rückführbaren Umweltmessungen mit zuverlässiger Messunsicherheit zu befriedigen. Gefragt sind bessere Vergleichbarkeit, kleinere Messunsicherheit und eine grössere Anzahl von stabilen Standards und Referenzmaterialien, um den Zielen dieser Organisationen und der globalen Nachfrage nach hoher Datenqualität gerecht zu werden.

Die Metrologie ist auch gefragt, wenn es um den Schutz der Bevölkerung vor potentiell schädlicher nichtionisierender Strahlung geht. Im Umweltbereich sind z.B. Themenfelder mit Anforderungen an die Metrologie wichtig:

Umweltbeobachtung:

Die Überwachung des Umweltzustandes erfolgt heute kontinuierlich und grenzüberschreitend, die erfassten Daten müssen verlässlich sein, damit politische Minderungsmaßnahmen akzeptiert werden.

Klimawandel und Meteorologie:

Essentielle Klimavariablen müssen zeitlich und örtlich vergleichbar gemessen werden; damit der Klimawandel verlässlich prognostiziert werden kann.

Emissionskontrolle und -minderung:

Grosse Emittenten werden heute kontinuierlich überwacht; verlässliche Inventare bilden die Basis für den internationalen Emissionshandel; Emissionen neuer Stoffe wie gentechnisch veränderte Organismen (GVO) und Nanomaterialien müssen minimiert werden. Mikroplastik findet sich inzwischen fast überall in der Umwelt.

Die Risiken, die von diesen Partikeln aufgrund der Aufnahme in Biota und der Anreicherung in der Nahrungskette ausgehen, sind noch nicht bekannt. Zuverlässige und rückführbare

Methoden zur Charakterisierung von Mikroplastik in Umweltmatrizen sind zu entwickeln. Im Bereich der nichtionisierenden Strahlung (Elektrosmog, Licht, Laser, Schall) gilt es, rückführbare und robuste Messmethodiken zu entwickeln, damit die Einhaltung von Grenzwerten zuverlässig überprüft werden kann.

Der Energiewandel

Die Energiestrategie 2050 des Bundes sieht einen schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie unter Beibehaltung der Klimaziele, d.h. einer 20%-Reduktion des CO₂-Ausstosses bis 2020 gegenüber 1990, vor. Auch die EU hat die sichere, saubere und effiziente Energieversorgung als eine der grossen Herausforderungen formuliert und z.B. das 20-20-20-Ziel gesetzt (20% Verbesserung der Effizienz, 20% Reduktion der CO₂-Emissionen und 20% Anteil der erneuerbaren Energien bis 2020). Diese Ziele bedingen einen grundlegenden Umbau des gesamten Energiesystems mit weitgehenden Auswirkungen auf die Art und Weise, wie wir Energie gewinnen und umwandeln, wie Energie transportiert und gehandelt und schliesslich wie die Energie verwendet wird.

Für den Umbau des Energiesystems sind intensive Forschungsbemühungen notwendig, sei dies bei der Entwicklung von effizienten kohlenstoffarmen Energie-Technologien, der Entwicklung von neuen und erneuerbaren Energie-Quellen, der Verbesserung der Effizienz, Zuverlässigkeit und Sicherheit von Energieverteilungssystemen sowie der Reduktion des Energieverbrauchs. Die Metrologie kann z.B. bei Energiespeicherung und -transport wichtige Beiträge leisten:

Die dezentrale und zeitlich fluktuierende Energieeinspeisung verlangt eine bessere Überwachung der elektrischen Netze. Metrologie ist notwendig für das Management der Energieflüsse und deren Verrechnung. Für den Verbraucherschutz muss die Qualität der fossilen Brennstoffe überprüft werden. Neue Technologien für die Energiespeicherung, wie z.B. chemische Speichermaterialien sind zu charakterisieren.

Die Fabrik der Zukunft

Die Metrologie spielt eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung qualitativ hochstehender, hoch-technologischer und innovativer Produkte. Oft sind Entwicklungsschritte nur möglich, wenn die unterstützenden Messfähigkeiten existieren. Das gilt nicht nur für die neuen Technologien wie Mikro- und Nanoelektronik, Photonik, Nanotechnologie, Biotechnologie, neue Materialien und Produktionstechniken, sondern auch in traditionellen industriellen Bereichen.

Die Neu- und Weiterentwicklung ist in allen Phasen der Produktentwicklung auf eine unterstützende, an die jeweiligen Entwicklungsstufen bezüglich Auflösung, Geschwindigkeit, Robustheit, Vergleichbarkeit, Messunsicherheit und Kosten angepasste Messtechnik angewiesen. Dies gilt insbesondere

« Es ist die Aufgabe des METAS und aller anderen NMI, die metrologischen Grundlagen zu schaffen damit die Messungen mit der erforderlichen Genauigkeit erfolgen können. »



auch für die Produktentwicklung im Rahmen neuer Technologien. Diese sind oft nur dank neuer oder verbesserter metrologischer Werkzeuge möglich, welche quer über alle Fachbereiche zu entwickeln sind. Die Industrie 4.0 wird die Planung, Dokumentation, Produktion, die Produkte und Dienstleistungen mit Hilfe von Sensoren und virtuellen Netzwerken in einer voll digitalisierten Umgebung integrieren.

Die Mikro- und Nanotechnologien sind ein schnell wachsendes Gebiet mit vielen neuartigen Anwendungsmöglichkeiten. Aktuelle Herausforderungen umfassen Fabrikationstechniken im Mikro- und Nanobereich, die Charakterisierung von nanostrukturierten Materialien, die Entwicklung von Nanoelektronik, Nanophotonik, Nanomagnetics (z.B. molekulare Elektronik), Nanosensoren und Computer. Die Herausforderungen für die Metrologie sind die Erweiterungen der Messbereiche bis in die kleinsten Dimensionen und die Erfassung neuartiger Messgrössen.

Die Rolle des nationalen Metrologieinstituts

Die aufgeführten Beispiele sollen aufzeigen, dass zuverlässige und vergleichbare Messungen in allen Bereichen des Lebens eine Rolle spielen. Es ist die Aufgabe des METAS und aller anderen NMI, die Grundlagen zu schaffen, dass in so unterschiedlichen Gebieten wie der physikalischen Grundlagenforschung und der Lebensmittelsicherheit die Messgrössen und die Referenzgrössen richtig definiert und die Messungen mit der erforderlichen Genauigkeit erfolgen können.

Que reste-t-il à accomplir ?

Les rapides progrès technologiques réclament des mesures toujours plus exactes et fiables. Impossible de bien comprendre ce que nous ne pouvons pas mesurer. C'est pourquoi les progrès métrologiques ont une incidence notable sur notre capacité à comprendre notre environnement et à le façonner.

Le développement constant réalisé en métrologie permet de mieux relever les défis sociaux actuels et à venir, ainsi que de répondre aux besoins de l'industrie et de la politique.

Dans le domaine de la santé, la métrologie peut, au moyen de matériaux de référence reconnus et de nouvelles méthodes de mesure, contribuer à améliorer la qualité et la comparabilité de résultats diagnostiques et thérapeutiques.

Le contrôle de la qualité des denrées alimentaires et de l'eau potable dépend de mesures traçables. Il est essentiel pour la politique climatique que les mesures politiques de réduction des effets anthropiques sur le climat reposent sur des connaissances scientifiques solides et sur des modèles climatiques fiables. Il est donc indispensable d'avoir une approche holistique fondée sur des données comparables.

Il est nécessaire de revoir en profondeur le système énergétique afin de pouvoir atteindre les objectifs de lutte contre le changement climatique. Cette restructuration aura des répercussions sur notre façon de produire de l'énergie, de la transformer, de la commercialiser et de la consommer. La métrologie apportera aussi des solutions dans cette optique. En outre, la métrologie doit encore relever des défis liés au développement de nouvelles technologies, que ce soit à travers l'extension des plages de mesure aux plus petites dimensions ou la saisie des mesurandes d'un nouveau genre.

C'est le rôle de METAS et de tous les autres INM de créer les bases qui permettent, dans des domaines aussi variés, de définir correctement les grandeurs de référence ainsi que d'effectuer les mesures avec l'exactitude requise.

Cosa resta da fare?

I rapidissimi progressi tecnologici rendono necessarie misurazioni ancora più precise e affidabili. Ciò che non riusciamo a misurare sfugge alla nostra comprensione. Per questo i progressi in campo metrologico hanno un forte impatto sulla nostra capacità di capire e dare forma all'ambiente che ci circonda.

L'incessante evoluzione della metrologia contribuisce a vincere le sfide sociali presenti e future e a soddisfare le esigenze del mondo dell'industria e della politica.

In ambito sanitario la metrologia, con l'aiuto di materiali di riferimento riconosciuti e nuovi metodi di misurazione, può aiutare a migliorare la qualità e la comparabilità dei risultati diagnostici e degli esiti terapeutici.

Il controllo qualità effettuato su alimenti e acqua potabile è legato alla necessità di misurazioni tracciabili. Per la politica climatica è essenziale che le misure volte a ridurre gli effetti antropogeni sul clima si fondino su basi scientifiche solide e modelli climatici affidabili. A tal fine è imprescindibile avere una prospettiva olistica basata su dati comparabili.

Per conseguire gli obiettivi in campo climatico è necessaria una trasformazione radicale del sistema energetico e delle conseguenti modalità in cui l'energia viene ricavata, trasformata, commercializzata e consumata. Anche in questo ambito la metrologia sarà in grado di offrire soluzioni. A ciò si aggiungono le sfide che la metrologia deve affrontare nello sviluppo di nuove tecnologie, estendendo i campi di misura alle più piccole dimensioni o registrando grandezze di misurazione del tutto nuove.

Il ruolo del METAS e di tutti gli altri istituti metrologici (NMI) è quello di creare i presupposti affinché in territori così diversi le grandezze di riferimento siano definite in modo corretto e le misurazioni possano avvenire con la precisione richiesta.

What remains to be done?

The rapid pace of technological progress calls for ever more precise and reliable measurements. What we are unable to measure, we are unable to understand correctly. Advances in metrology thus have a great impact on our ability to understand and shape our environment.

The ongoing development of metrology is helping to master current and future social challenges and to meet the needs of industry and policymakers.

In the health sector, metrology can contribute to improving the quality and comparability of diagnostic results and therapeutic outcomes thanks to recognised reference materials and new measurement methods.

The quality control of foodstuffs and drinking water is dependent on traceable measurements. With regard to climate policy, it is vital that the political measures aimed at reducing anthropogenic impacts on the climate are based on sound science and reliable climate models. This makes it absolutely essential to follow a holistic approach based on comparable data.

If the climate goals are to be achieved, a fundamental restructuring of the energy system is necessary, with implications for the way in which we generate, transform, trade and consume energy. Here, too, metrology will be able to provide solutions. Moreover, metrology continues to face challenges in the development of new technologies, whether through the expansion of measurement ranges into the very smallest dimensions or through the recording of new types of measured quantities.

The role of METAS and all other NMIs is to establish the foundations for the correct definition of reference values in such widely differing areas, enabling measurements to be performed with the requisite degree of accuracy.