

# Die Referenz.

Das Schweizer Metrologiemagazin

Nr. 01 | 2025

[Seite 12](#) →

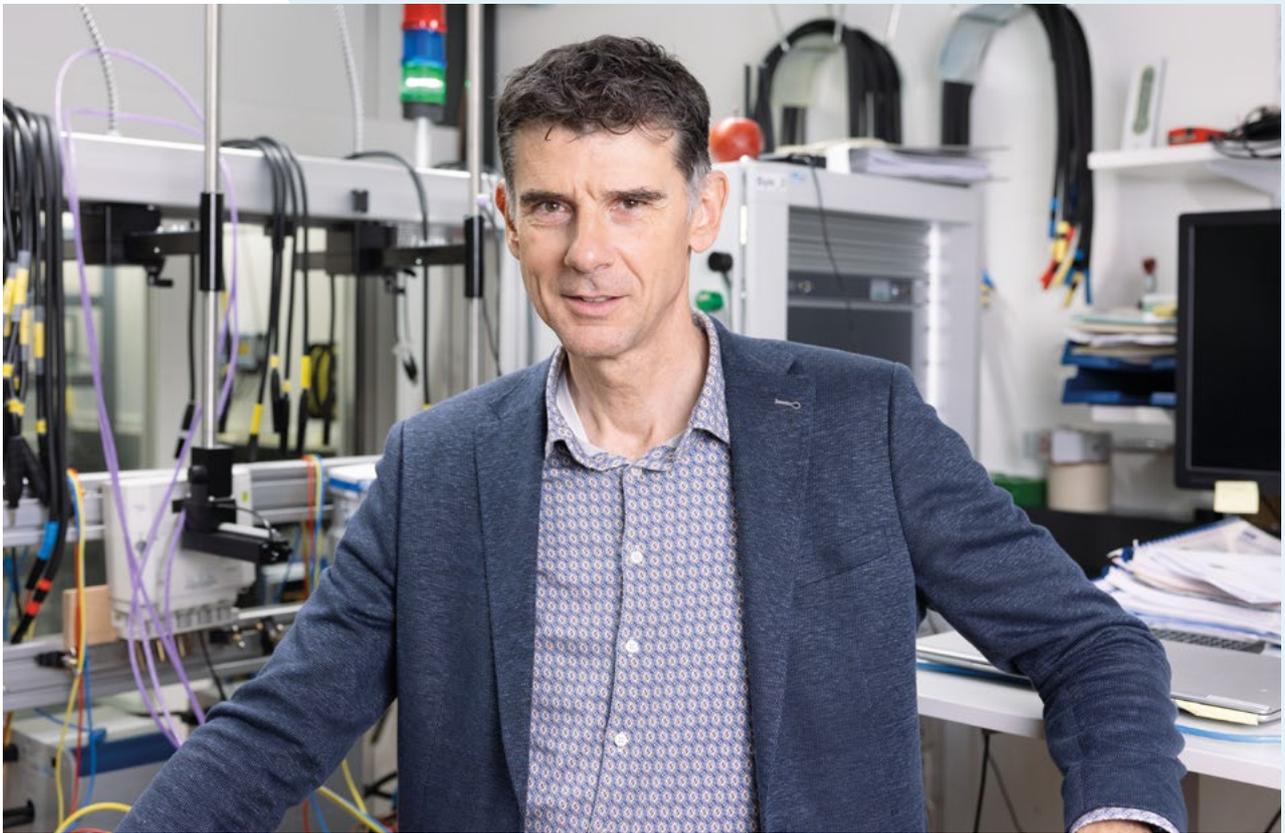
## Das unsichtbare Fundament der Genauigkeitsarbeit

[Seite 8](#) →

**Biologische Metrologie**  
stärkt die personali-  
sierte Medizin

[Seite 18](#) →

**Candela:**  
die menschliche Seite  
des Einheitensystems



#### Impressum

#### Herausgeber

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

#### Redaktionsleitung

Xavier Rappo  
kommunikation@metas.ch

#### Redaktionsteam

Sören Fricke  
Hugo Lehmann  
Lena Märki  
Jürg Niederhauser

#### Sprachversionen

DE, FR, EN (online)

#### Bildnachweis

METAS, Adobe Stock (S.8), IMEKO (S.24 und S.25)

#### Gestaltung

Casalini Werbeagentur AG  
casalini.ch

#### Copyright

© 2025  
Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS, Bern  
Der Nachdruck von Artikeln ist mit Quellenangabe  
gestattet. Bitte schicken Sie ein Belegexemplar an  
die Redaktionsadresse.

#### Auflage

2700 Exemplare deutsch  
1100 Exemplare französisch  
Englisch online

#### Druck

Galledia AG, Flawil  
galledia.ch

#### Administration

ISSN 2813-8961 (Print deutsch)  
ISSN 2813-897X (online deutsch)

#### Titelseite

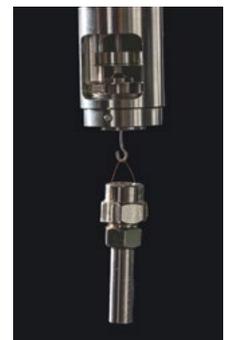
Tankfüllsystem für flüssiges Helium.

## Inhalt

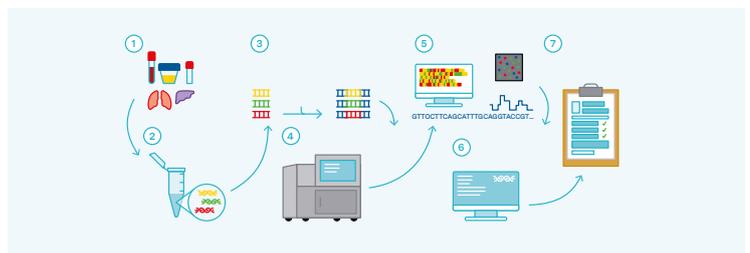
### 4 Genauere Messresultate für bodennahes Ozon



### 7 Objekt



### 8 Biologische Metrologie stärkt die personalisierte Medizin



## Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser

Letzten Sommer hatte ich die Gelegenheit, den Weltkongress der IMEKO (S. 24) zu besuchen. Dort konnte ich die Fortschritte in der Metrologie auf globaler Ebene beobachten und mir ein Bild von der Entwicklung neuer Messtechnologien machen, die unsere tägliche Arbeit beeinflussen und an der wir aktiv beteiligt sind.

Die Genauigkeit unserer Messungen beruht nicht nur auf den technologischen Einrichtungen und den Kompetenzen unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, sondern auch auf der Umgebung, in der die Messungen durchgeführt werden. Die stabilen Messbedingungen in unseren Laboren sind auch dank der Unterstützung des Teams des Technischen Dienstes möglich. Dieses arbeitet aktiv im Hintergrund, um den Metrologen unseres Instituts optimale und sichere Arbeitsbedingungen zu bieten (S. 12).

Das Know-how der Metrologen und ihre Erfahrung ermöglichen es, Experimente bei kryogenen Temperaturen im Bereich der Elektrizität durchzuführen (S. 16/17). Der Technische Dienst stellt dazu die kontinuierliche Stromversorgung zahlreicher Messgeräte sicher, z. B. für die DNA-Sequenzierung in der biologischen Metrologie im Dienste der Krebsforschung (S. 8).

Ich lade Sie ein, in unsere Arbeit einzutauchen und einen Blick hinter die Kulissen unseres Technischen Dienstes zu werfen.

Dr. Fabiano Assi  
Stellvertretender Direktor und  
Abteilungsleiter Physik

## 12 Das unsichtbare Fundament der Genauigkeitsarbeit



18 Glosse

## Die Candela oder die menschliche Seite des internationalen Einheitensystems

## 16 Elektrizität Realisierung des Volt Realisierung des Ohm

## 22 In Kürze

## 24 Die Internationale Messtechnische Konföderation IMEKO



## 26 Wissenstransfer für alle



Aktualität

## Genauere Messresultate für bodennahe Ozon

Das Gasanalytiklabor des METAS kalibriert seit 1993 Ozonmessgeräte nach einer einheitlichen Methode mit einem primären Ozonphotometer. Diese Methode soll nun in einem international koordinierten Prozess den neusten Erkenntnissen angepasst und die Messunsicherheiten reduziert werden.

Bernhard Niederhauser

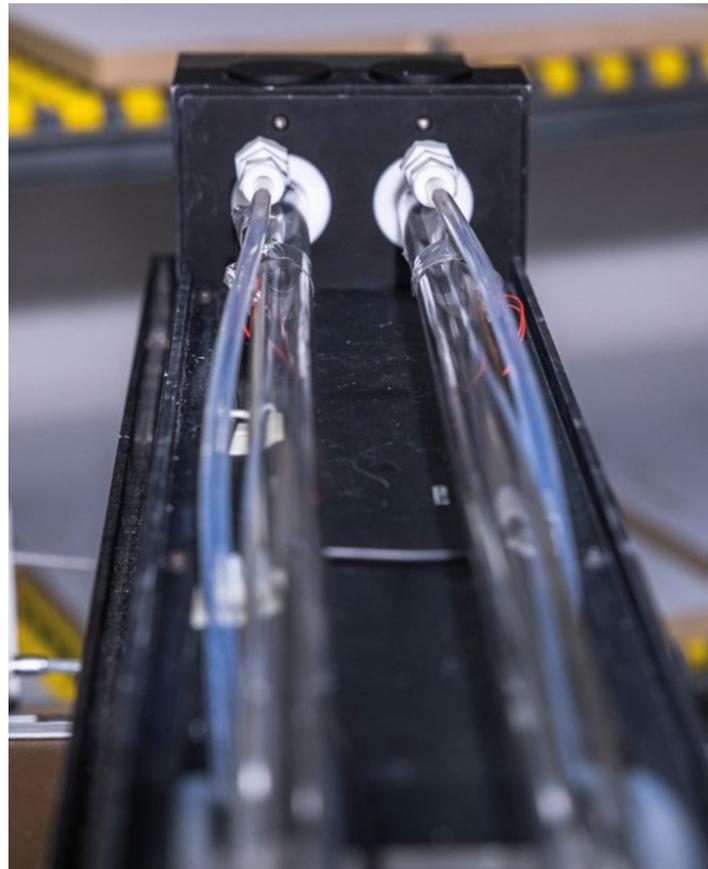
Die Messung und damit auch die Kalibrierung von Messgeräten für Stoffmengenanteile von Ozon in der bodennahen Luft haben in der Schweiz eine lange Tradition. Einer normierten Methode folgend, werden die für die Überwachung der Luftqualität und für die Forschung eingesetzten Messgeräte regelmässig kalibriert. Dabei wird der von einem stabilen Ozongenerator erzeugte Stoffmengenanteil<sup>1</sup> Ozon in Luft durch photometrische Messung mit einem Standard-Referenzphotometer (SRP) berechnet.

$$x_{O_3} = \frac{-1}{2 \cdot L_{opt} \cdot \sigma} \cdot \frac{R}{N_A} \cdot \frac{T_{mes}}{p_{mes}} \cdot \ln(D)$$

Formel zur Berechnung des Stoffmengenanteils von Ozon:  $x_{O_3}$  ist der Stoffmengenanteil von Ozon;  $L_{opt}$  ist die mittlere optische Länge der Messzellen;  $\sigma$  ist der Absorptionsquerschnitt eines Ozonmoleküls;  $R$  ist die universelle Gaskonstante und  $N_A$  die Avogadrokonstante.  $T_{mes}$  und  $p_{mes}$  sind die gemessenen Temperatur- und Druckbedingungen und  $D$  ist das Produkt der Transmissionen beider Messzellen.



Das «Manifold» verteilt das Ozonluftgemisch mit stabilem Stoffmengenanteil auf die Referenz und gleichzeitig auf bis zu drei Prüflinge.



Die beiden 90 cm langen Messzellen werden abwechselnd mit einem ozonhaltigen Gemisch oder mit Nullluft beaufschlagt.

Dieses Ozonluftgemisch wird gleichzeitig auf einen Prüfling gegeben, um ihn damit zu kalibrieren. Den grössten Einfluss auf diese Berechnung und ihre Unsicherheit hat der Absorptionsquerschnitt (vgl. Formel). Der derzeit verwendete Wert des Absorptionsquerschnitts aus dem Jahr 1961<sup>2</sup> wird nun weltweit durch einen neuen, vereinbarten Wert mit der Bezeichnung CCQM.O3.2019 ersetzt werden und ab dem Jahr 2025 genauere Referenzwerte und damit auch genauere Messwerte ermöglichen.

#### **Eine Arbeitsgruppe koordiniert die weltweite Implementierung**

Damit die Umstellung vom alten auf den neu definierten Wert des Absorptionsquerschnitts möglichst reibungslos und vor allem rückverfolgbar vonstatten geht, wurde eine internationale Arbeitsgruppe eingesetzt, die die Umstellung koordiniert und Leitfäden erarbeitet. Die Arbeitsgruppe mit Schweizer Beteiligung hat aktuell die Leitfäden zur Implementierung und zur einheitlichen Verwendung von

## Absorptionskennwerte

	Vor dem Wechsel	Umrechnungsfaktor	Nach dem Wechsel
Zeitbereich	Bis Dez. 2024		Ab Jan. 2025
Name der Referenz	Hearn.1961		CCQM.O3.2019
Absorptionsquerschnitt pro Molekül $\sigma$	1,1476·10 <sup>-17</sup> cm <sup>2</sup>	1,01298	1,1329·10 <sup>-17</sup> cm <sup>2</sup> <sup>4</sup>
Rel. Messunsicherheit $\sigma$	1,06 %		0,31 %
Linearer Absorptionskoeffizient $\sigma_x$	308,32 cm <sup>-1</sup>	1,01293	304,39 cm <sup>-1</sup>
Rel. Messunsicherheit $\sigma_x$	1,06 %		0,31 %

Die Angaben der Absorptionskennwerte unterscheiden sich vor und nach dem Wechsel. Der bisher verwendete Wert wird mit dem neuen, etwas tieferen und dreimal genaueren Wert ersetzt. Nicht nach CCQM.O3.2019 korrigierte Daten können mit dem Umrechnungsfaktor auf die neue Referenz umgerechnet werden. Da im SRP der lineare Absorptionskoeffizient gespeichert ist, ist für die Umrechnung die Zeile mit blauem Text ausschlaggebend.

Metadaten sowie diverse Berichte zu Zahlen und Fakten rund um den Wechsel veröffentlicht. Diese und weitere Erkenntnisse werden auf der Informationsplattform des Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)<sup>3</sup> zugänglich gemacht. Interessierte Personen können sich registrieren, um die aktuellsten Ergänzungen mitzubekommen. Des Weiteren wurden auch Fragen wie zur Anpassung von internationalen, regionalen und nationalen Normen geklärt und ein Zeitfenster für die Implementierung definiert. Letztlich soll eine Publikation über die Auswirkungen des Wechsels auf lange Sicht in unterschiedlichen Kontexten vorbereitet werden.

### Das Vorgehen in der Schweiz

In der Schweiz haben sich die beiden Kalibrierdienstleister, das METAS und die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), darauf geeinigt, Kalibrierungen ab Januar 2025 nur noch mit dem neuen Absorptionsquerschnitt anzubieten. Dadurch ist es möglich, im Übergangsjahr 2025 alle Daten, die auf einem Kalibrierzertifikat von 2024 und früher basieren, auf den neuen Absorptionsquerschnitt umzurechnen (siehe Tabelle).

Im Umkehrschluss können im Jahr 2025 alle Daten von Geräten, die mit Referenz zu CCQM.O3.2019 kalibriert wurden, wie bis anhin ordentlich mit der Kalibrierfunktion aus dem Kalibrierzertifikat korrigiert werden. Es ist davon auszugehen, dass der Prozess per Ende 2025 abgeschlossen werden kann. Dann wird man die neuen Datensätze von Ozonmessungen nur noch an den detaillierten Metadaten unterscheiden können.

### Auswirkungen auf die Immissionswerte

Durch die leichte Verminderung des Absorptionskennwertes von ca. 1,3 % werden gemäss dem Gesetz von Lambert-Beer (siehe Formel) die Messwerte um den gleichen Betrag steigen. Dies mag in wenigen Fällen zu zusätzlichen Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte nach der Luftreinhalteverordnung<sup>5</sup> führen, da diese nicht entsprechend angepasst werden und auf den «runden» Zahlen (z. B. 120 µg/m<sup>3</sup> für den 1-h-Mittelwert) verbleiben. Ob der Wechsel des Absorptionsquerschnittes in anderen Ländern andere Auswirkungen hat oder sich überhaupt signifikant auswirkt, werden weiterführende Studien und Publikationen über Ozonzeitreihen in Zukunft zeigen. ●

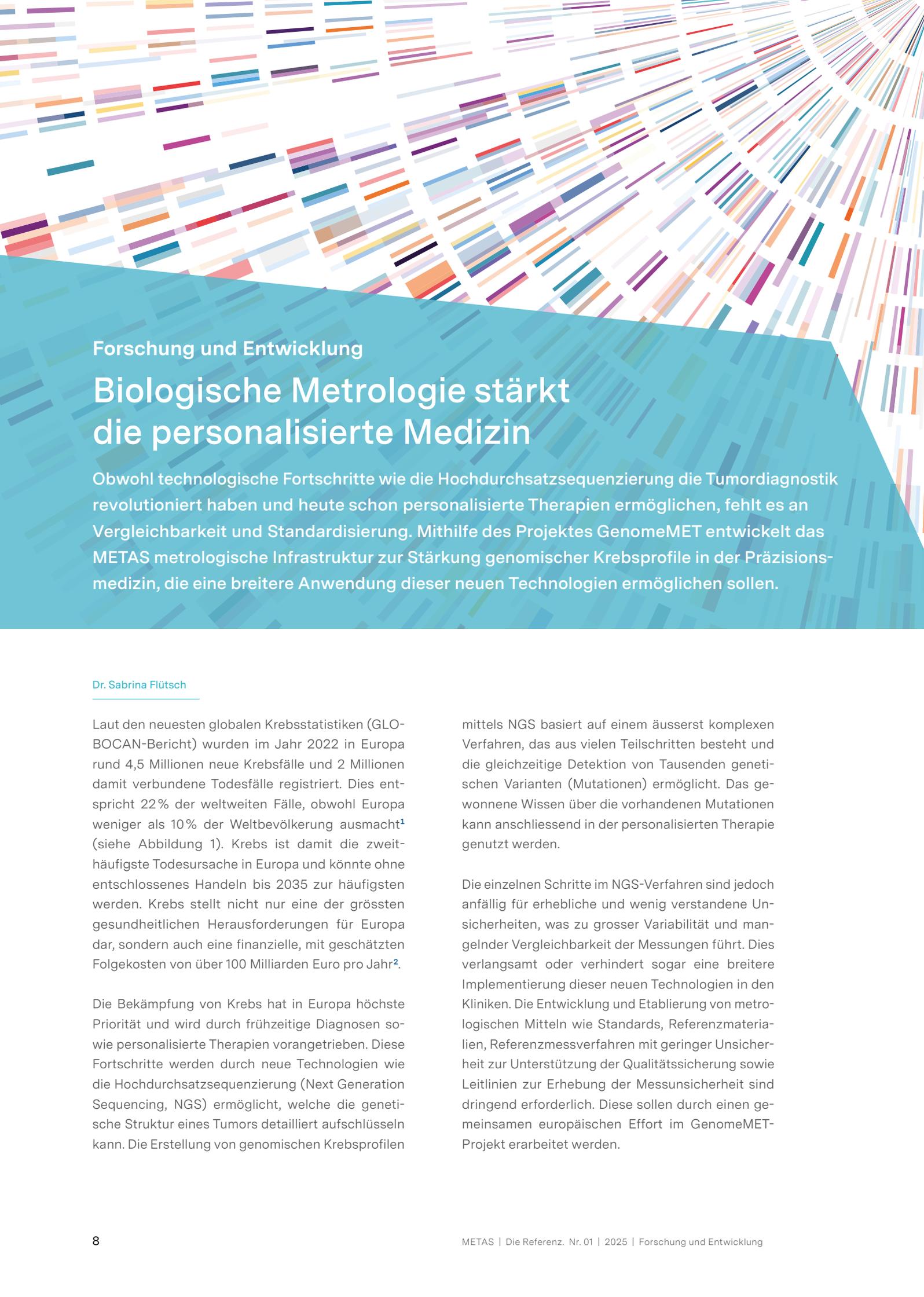
- 1 Der Stoffmengenanteil ist für ideale Gase gleichbedeutend mit der Volumenkonzentration.
- 2 Hearn, Proc. Phys. Soc., 78, 1961, DOI 10.1088/0370-1328/78/5/340; <https://doi.org/10.1088/0370-1328/78/5/340>
- 3 <https://www.bipm.org/en/ozone>
- 4 J T Hodges et al. 2019. Metrologia 56, 034001, <https://doi.org/10.1088/1681-7575/ab0bdd>
- 5 Luftreinhalte-Verordnung (LRV, SR 814.318.142.1), [https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208\\_208\\_208/de](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208_208/de)



Objekt

# Magnet- schwebe- waage und Permeator

Um die Rückführbarkeit von Klimagas- und Luftschadstoffmessungen sicherzustellen, betreibt das METAS Magnetschwebewaagen. Damit können Referenzgase in Stoffmengenanteilen hergestellt werden, wie sie in der Umgebungsluft vorkommen. Herzstück ist eine Kammer, in der ein sogenannter Permeator hängt. Dies ist ein kleines Röhrchen mit einer eingelassenen Membran durch welche die enthaltene Substanz, zum Beispiel Stickstoffdioxid, austritt. Anhand des mittels Wägung bestimmten Masseverlusts des Permeators und des Gasflusses durch die Kammer kann der Stoffmengenanteil von Stickstoffdioxid im Referenzgas berechnet werden. Der Knackpunkt dabei ist, dass der Masseverlust des Permeators bei erhöhten Temperaturen bestimmt werden muss, was mit einer normalen Präzisionswaage nicht möglich ist. Die Lösung: Der Permeator in der beheizten Kammer wird über eine Magnetschwebekupplung mit der Präzisionswaage bei Raumtemperatur verbunden.



Forschung und Entwicklung

# Biologische Metrologie stärkt die personalisierte Medizin

Obwohl technologische Fortschritte wie die Hochdurchsatzsequenzierung die Tumordiagnostik revolutioniert haben und heute schon personalisierte Therapien ermöglichen, fehlt es an Vergleichbarkeit und Standardisierung. Mithilfe des Projektes GenomeMET entwickelt das METAS metrologische Infrastruktur zur Stärkung genomischer Krebsprofile in der Präzisionsmedizin, die eine breitere Anwendung dieser neuen Technologien ermöglichen sollen.

[Dr. Sabrina Flütsch](#)

Laut den neuesten globalen Krebsstatistiken (GLOBOCAN-Bericht) wurden im Jahr 2022 in Europa rund 4,5 Millionen neue Krebsfälle und 2 Millionen damit verbundene Todesfälle registriert. Dies entspricht 22% der weltweiten Fälle, obwohl Europa weniger als 10% der Weltbevölkerung ausmacht<sup>1</sup> (siehe Abbildung 1). Krebs ist damit die zweithäufigste Todesursache in Europa und könnte ohne entschlossenes Handeln bis 2035 zur häufigsten werden. Krebs stellt nicht nur eine der grössten gesundheitlichen Herausforderungen für Europa dar, sondern auch eine finanzielle, mit geschätzten Folgekosten von über 100 Milliarden Euro pro Jahr<sup>2</sup>.

Die Bekämpfung von Krebs hat in Europa höchste Priorität und wird durch frühzeitige Diagnosen sowie personalisierte Therapien vorangetrieben. Diese Fortschritte werden durch neue Technologien wie die Hochdurchsatzsequenzierung (Next Generation Sequencing, NGS) ermöglicht, welche die genetische Struktur eines Tumors detailliert aufschlüsseln kann. Die Erstellung von genomischen Krebsprofilen

mittels NGS basiert auf einem äusserst komplexen Verfahren, das aus vielen Teilschritten besteht und die gleichzeitige Detektion von Tausenden genetischen Varianten (Mutationen) ermöglicht. Das gewonnene Wissen über die vorhandenen Mutationen kann anschliessend in der personalisierten Therapie genutzt werden.

Die einzelnen Schritte im NGS-Verfahren sind jedoch anfällig für erhebliche und wenig verstandene Unsicherheiten, was zu grosser Variabilität und mangelnder Vergleichbarkeit der Messungen führt. Dies verlangsamt oder verhindert sogar eine breitere Implementierung dieser neuen Technologien in den Kliniken. Die Entwicklung und Etablierung von metrologischen Mitteln wie Standards, Referenzmaterialien, Referenzmessverfahren mit geringer Unsicherheit zur Unterstützung der Qualitätssicherung sowie Leitlinien zur Erhebung der Messunsicherheit sind dringend erforderlich. Diese sollen durch einen gemeinsamen europäischen Effort im GenomeMET-Projekt erarbeitet werden.

## Globale Krebsfälle 2022 (20 Millionen)

- Asien (~ 9,8 Millionen, 49,2%)
- Europa (~ 4,5 Millionen, 22,4%)
- Nordamerika (~ 2,7 Millionen, 13,4%)
- Lateinamerika und Karibik (~ 1,6 Millionen, 7,7%)
- Afrika (~ 1,2 Millionen, 5,2%)
- Ozeanien (~ 0,3 Millionen, 1,4%)

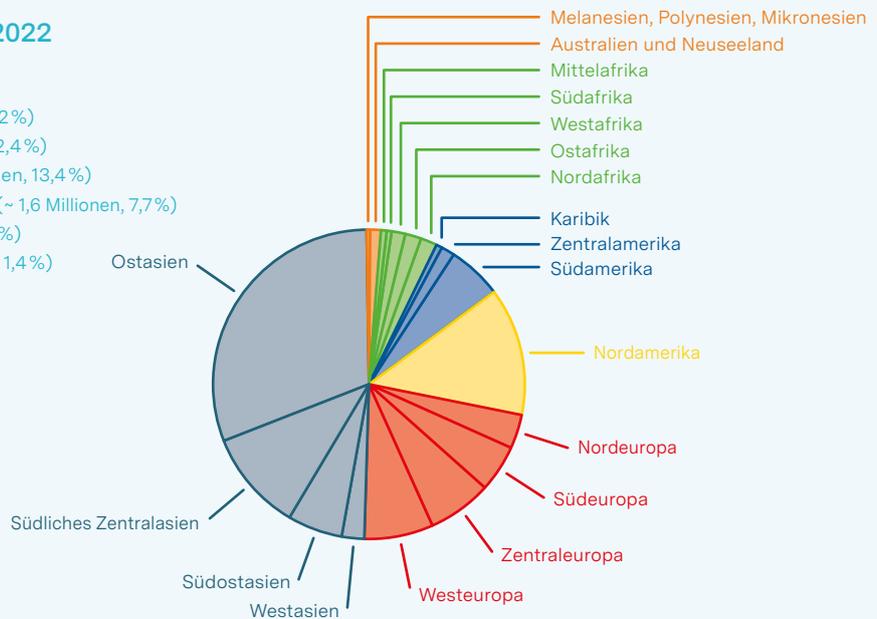


Abbildung 1:  
Globale Krebsfälle  
im Jahr 2022.  
Die Zahlen für die  
Grafik stammen aus  
dem GLOBOCAN  
2022 Report.<sup>1</sup>

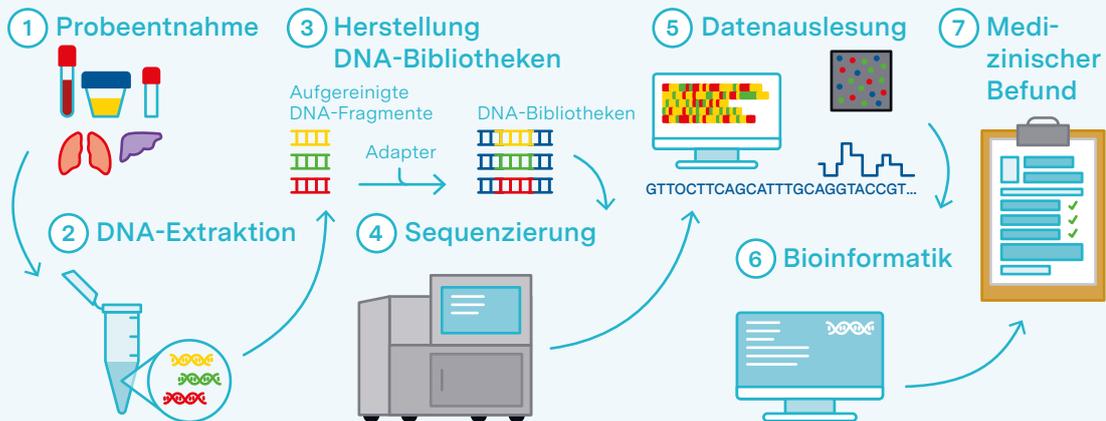


Abbildung 2: Ablauf einer Hochdurchsatzsequenzierung. In einem ersten Schritt werden Proben aus Tumor und nicht erkranktem Gewebe/Blut entnommen, aus diesen Proben wird DNA extrahiert, welche anschliessend als DNA-Bibliotheken sequenzierbar gemacht wird. Danach folgt das eigentliche Sequenzieren der DNA und die bioinformatische Analyse der Sequenzierdaten, welche aus Kombinationen der vier Basen der DNA (A, T, G, C) bestehen. Die Ergebnisse der Sequenzierung können schliesslich in der Präzisionsmedizin eingesetzt werden.

### Krebs: eine Krankheit des Genoms

Krebs ist eine Erkrankung des Erbguts (Genom). Im Laufe des Lebens können in den Erbanlagen, also in unseren Genen, Schäden entstehen, welche nicht mehr reparierbar sind. Diese Schäden, bekannt als genetische Mutationen, können vererbt sein (Keimbahnmutationen), entstehen jedoch häufiger zufällig durch Mechanismen wie Kopierfehler bei der DNA-Verdoppelung oder defekte DNA-Reparaturmechanismen. Das Auftreten von sogenannten somatischen Mutationen (erworbenen Mutationen) kann durch verschiedene erbgutschädigende Faktoren wie UV-Strahlung, Rauchen, Alkohol und Viren begünstigt werden.

Krebs ist jedoch nicht gleich Krebs. Gegenwärtig sind rund 300 verschiedene Krebserkrankungen bekannt, die sich sowohl genetisch als auch in ihren Therapiemöglichkeiten unterscheiden. So weist ein Hautkrebs bis zu 100000 somatische Mutationen auf, während ein Darmkrebs durchschnittlich nur 100 bis 200 Erbgutveränderungen aufweist.<sup>3</sup> Dieselbe Krebsart kann bei Patient X andere Mutationen aufweisen als bei Patient Y, und innerhalb eines Patienten mit Ablegern (Metastasen) kann es wiederum zu unterschiedlichen Mutationssignaturen kommen.

## Projektpartner Nationale Metrologie-Institute



### Genomics institutes



### Pathology institutes



UNIVERSITY OF LEEDS

### Cancer institutes



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TORINO

### EQA providers



### Technologieanbieter



Abbildung 3: GenomeMET-Projektkonsortium

Jede Krebserkrankung ist also einzigartig und wird durch ihre spezifische Kombination an Mutationen charakterisiert. Genomische Tests mittels NGS können dabei helfen, die individuellen DNA-Veränderungen eines Tumors zu entschlüsseln und sogenannte Treibermutationen zu identifizieren, die für das Tumorwachstum verantwortlich sind. Fortschritte im molekularen Tumorprofiling ermöglichen die Entwicklung zielgerichteter, personalisierter Therapien, die weniger Nebenwirkungen verursachen und kostengünstiger sind als traditionelle, breit eingesetzte Therapien.

### Molekulare Tumordiagnostik

Um ein molekulares Tumorprofil zu erstellen, wird eine Probe aus dem Tumor sowie eine Vergleichsprobe aus gesundem Gewebe oder Blut entnommen und daraus jeweils die DNA extrahiert (siehe Abbildung 2, Schritte 1 und 2). Aus der genomischen DNA werden anschliessend DNA-Bibliotheken hergestellt, indem die DNA fragmentiert und mit universellen Sequenzieradaptern sowie spezifischen Barcodes (Indizes) versehen wird. Dieser Prozess macht die DNA überhaupt erst sequenzierbar. Die Indizes sind einzigartige Sequenzen, die die gleichzeitige Analyse mehrerer Proben ermöglichen, da sie später bioinformatisch genutzt werden können, um den Probenursprung nachzuvollziehen. Die Sequenzieradapter sind notwendig, um die zu analysierenden DNA-Bibliotheken an die Fliesszelle zu binden, auf

der eine starke Amplifikation der Ausgangs-DNA sowie die eigentliche Sequenzierung stattfinden (siehe Abbildung 2, Schritte 3 und 4). Nach dem Sequenzieren folgt die bioinformatische Analyse der entstandenen Sequenzen, der sogenannten Reads. Dabei werden die einzelnen Reads, DNA-Base für DNA-Base, mit einem passenden Referenzgenom abgeglichen, um Abweichungen in der sequenzierten DNA gegenüber der Referenz zu identifizieren (Abbildung 2, Schritte 5 und 6). Abschliessend werden die Sequenzveränderungen hinsichtlich ihrer klinischen Relevanz beurteilt und die Ergebnisse in einem medizinischen Befund zusammengefasst (Abbildung 2, Schritt 7).

### Das GenomeMET-Projekt

Die analytische Komplexität der Genomsequenzierung bringt erhebliche Unsicherheiten mit sich, welche Einfluss auf die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Tumorprofile haben. Die Metrologie, also die Wissenschaft des Messens, kann eine entscheidende Rolle dabei spielen, diese Herausforderungen zu überwinden und Vertrauen in die Daten zu schaffen, um den nötigen Zugang zu genetischen Tests in der Krebsdiagnostik und -therapie zu ermöglichen. Das Labor für Biologische Analytik und Referenzen (BAR) des METAS beteiligt sich daher am europäischen Projekt GenomeMET, das darauf abzielt, diese Herausforderungen anzugehen.

Das dreijährige GenomeMET-Projekt wurde im September 2023 im Rahmen des Europäischen Metrologie-Forschungsprogramms (EMPIR) gestartet, das von der Europäischen Vereinigung nationaler Metrologieinstitute (EURAMET) geleitet wird. Das Projekt-konsortium umfasst siebzehn Mitglieder, darunter sieben nationale Metrologieinstitute (NMIs) bzw. designierte Institute (DIs), fünf Forschungsinstitute, drei Referenzinstitutionen für externe Qualitätssicherung, einen Industriepartner und einen Hersteller von Referenzmaterialien (Abbildung 3). Für das Projekt wurden insgesamt 1,75 Millionen Euro von der EU bereitgestellt.

Das Projekt konzentriert sich darauf, eine robuste und verlässliche metrologische Infrastruktur zu entwickeln, die zu einer gesteigerten Qualität von genomischen Tumorprofilen beitragen soll. Dazu werden in vier experimentellen Arbeitspaketen verschiedene metrologische Mittel entwickelt:

1. Rückführbare Methoden zur Bewertung kritischer Qualitätsmerkmale der einzelnen NGS-Schritte (z.B. DNA-Extraktion, Sequenzierung, Bioinformatik).
2. Referenzmessverfahren mit geringer Messunsicherheit, um reproduzierbare Messungen zu gewährleisten.
3. Standards und Referenzmaterialien zur Unterstützung der Messprozesse.
4. Statistische Verfahren zur Erhebung der Messunsicherheit.



Einblick in eines der Biologielabore am METAS.

Das METAS übernimmt die Leitung und die Durchführung des Arbeitspakets 4 und ist zudem an den anderen drei Arbeitspaketen beteiligt. Die Hauptziele des Arbeitspakets 4 umfassen:

- eine detaillierte Analyse der bioinformatischen Auswertung von NGS-Daten, um mögliche relevante Unsicherheitsquellen zu identifizieren,
- die Ausarbeitung statistischer Ansätze zur Erhebung der Messunsicherheit für genomische Tumorprofile,
- die Entwicklung neuartiger Referenzdatensätze für die Detektion somatischer Mutationen,
- das Bereitstellen von Leitlinien zur Erhebung der Messunsicherheit für genomische Datensätze.

Das GenomeMET-Projekt soll den Auftakt zu einer Reihe ähnlicher Projekte bilden, die darauf abzielen, den Einsatz von NGS-Protokollen in der klinischen Diagnostik zu verbessern. Ziel ist es, die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit dieser Verfahren zu erhöhen und somit das enorme Potenzial dieser Technologie voll auszuschöpfen.

Durch die Integration der Metrologie in die genomische Profilierung wird dieses Projekt eine frühere und präzisere Krebsdiagnose sowie individuell angepasste Behandlungsstrategien ermöglichen. Dies markiert einen bedeutenden Fortschritt hin zu einer Zukunft, in der die Krebsbehandlung nicht nur ein Standardverfahren, sondern auch eine personalisierte Reise zur Genesung darstellt. ●



Genome  
MET

Weitere Informationen über das Projekt sind auf der GenomeMET-Website zu finden.

- 1 Bray, F. et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin* 74, 229–263 (2024).
- 2 EU, E. C. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council – Europe's Beating Cancer Plan. COM(2021) 44 final (2021).
- 3 [https://www.wissensschau.de/krebs\\_tumor/tumor\\_genmutation\\_umwelt\\_vererbung.php](https://www.wissensschau.de/krebs_tumor/tumor_genmutation_umwelt_vererbung.php)



Über das METAS

## Das unsichtbare Fundament der Genauigkeitsarbeit

In den hochmodernen Laboren des Eidgenössischen Instituts für Metrologie METAS werden täglich Messungen durchgeführt, die zu den genauesten der Welt gehören. Hinter den Kulissen arbeitet ein Team daran, die optimalen Bedingungen für diese anspruchsvolle Arbeit zu schaffen und aufrechtzuerhalten: der Technische Dienst des Bereichs Infrastruktur und Logistik.

Dmitry Beer

### Die Herausforderung der Genauigkeit

Die Anforderungen an die Gebäude und technischen Anlagen des METAS sind aussergewöhnlich hoch. In manchen der Labore muss die Temperatur auf ein Hundertstel Kelvin genau konstant gehalten werden. Die Luftfeuchtigkeit darf oft nur um wenige Prozentpunkte schwanken. Und wenn es um Erschütterungen geht, können selbst winzige Vibrationen, die für den Menschen nicht spürbar sind, unsere empfindlichsten Messgeräte beeinflussen.

Ein Beispiel: Im Labor für Längenmessungen werden Längennormalen kalibriert, die als Referenz für die gesamte Schweizer Industrie dienen. Eine Schwankung der Raumtemperatur um nur 0,1 K könnte zu Messfehlern führen, die für ein Hightechunternehmen, das Präzisionsteile herstellt, bereits inakzeptabel wären. Der Technische Dienst sorgt zum Beispiel dafür, dass die Temperatur in diesem Labor auf  $\pm 0,01$  K genau gehalten wird – Tag und Nacht, Sommer wie Winter.



Das Team des Technischen Dienstes besteht aus vier Mitarbeitern: Heinz Strässler, Rolf Zwahlen, Roland Rufenacht und Dmitry Beer.

### Das Team hinter der Technik

Der Technische Dienst ist kein Hausmeisterteam. Vielmehr handelt es sich um ein hoch spezialisiertes, interdisziplinäres Team von Spezialisten, die gemeinsam ein beeindruckendes Spektrum an Kompetenzen abdecken:

- Elektrotechniker mit Schwerpunkt Gebäudetechnik sorgen für die zuverlässige Stromversorgung und die komplexe Elektroinstallation der Labore.
- Spezialisten für Klima-, Heizungs- und Sanitärtechnik halten die präzisen Umgebungsbedingungen aufrecht, die für die Messungen unerlässlich sind.
- Fachleute für Sicherheitssysteme und Zutrittskontrolle gewährleisten, dass die sensiblen Bereiche optimal geschützt sind.

Diese Vielfalt an Kompetenzen ermöglicht es, die komplexen technischen Systeme des eidgenössischen Instituts eigenständig zu betreuen und zu warten – oft auf einem Niveau, das externe Dienstleister kaum erreichen können.

### Garanten der Bedingungen für tägliche genaue Messungen

Ein Tag beginnt mit der Überprüfung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage. Im Reinraumlabor, wo Partikel in der Luft die Messungen der Wissenschaftler beeinflussen könnten, wird die Luftfilteranlage einer gründlichen Inspektion unterzogen. Gleichzeitig überprüft ein anderes Teammitglied das Gebäudeleitsystem. Dieses steuert und überwacht zentral alle Haustechniksysteme.

Im Laufe des Vormittags meldet das System eine leichte Abweichung der Temperatur eines Präzisionslabors. Sofort macht sich Roland Rufenacht auf den Weg, um die Ursache zu finden. Es stellt sich heraus, dass ein Sensor leicht verschoben ist – ein Problem, das dank der schnellen Reaktion behoben wird, bevor es Auswirkungen auf die laufenden Messungen hat.

Kurze Zeit darauf führt Roland Rufenacht, der mit seinen 30 Erfahrungsjahren alle Ecken und Winkel des METAS kennt, die monatliche Wartung des Notstromdieselgenerators durch. Dieser Generator ist entscheidend, um bei einem Stromausfall die ununterbrochene Versorgung unserer kritischen Systeme zu gewährleisten. Auch die unterbrechungsfreie Stromversorgung wird regelmässig geprüft, um sicherzustellen, dass selbst millisekundenkurze Stromunterbrechungen die empfindlichen Messgeräte aller Labore nicht beeinträchtigen.

### Sauberes Wasser für die Experimente und die Umwelt

Am Nachmittag steht die Überprüfung der Wasseraufbereitungsanlagen auf dem Programm. Für viele der Experimente benötigen die Metrologen Wasser von höchster Reinheit. Die regelmässige Wartung dieser Anlagen ist entscheidend, um die Reinheit konstant zu gewährleisten.

Gleichzeitig kümmert sich ein anderes Teammitglied, Rolf Zwahlen, um die Abwassersysteme. Im chemischen Labor fallen regelmässig Abwässer an, die vor der Einleitung in das öffentliche Kanalsystem neutralisiert werden müssen. Die Überwachung und Wartung dieser Neutralisationsanlage ist eine wichtige Aufgabe, die nicht nur für den Betrieb des METAS, sondern auch für den Umweltschutz von grosser Bedeutung ist.

### Gewährleistung der Sicherheit der Infrastruktur und der Belegschaft

Die Sicherheit steht bei allen Aktivitäten des Technischen Dienstes an oberster Stelle. Im Laufe des Tages werden die Gaswarnanlagen in den Laboren überprüft. Diese Anlagen sind lebenswichtig, da in einigen Experimenten mit potenziell gefährlichen Gasen gearbeitet wird.

Parallel dazu führt Heinz Strässler eine Schulung für neue Mitarbeitende zur Bedienung unseres Zutrittskontrollsystems durch. Dieses System gewährleistet, dass nur autorisiertes Personal Zugang zu sensiblen Bereichen hat. Es ist komplex und muss regelmässig aktualisiert und ergänzt werden, um mit den neuesten Sicherheitsstandards Schritt zu halten.

### Produktion von flüssigem Helium

Ein besonderes Highlight des Tages ist die Produktion von flüssigem Helium mit der institutseigenen Heliumverflüssigungsanlage. Diese Anlage ist für die Quantenexperimente in der Elektrizität unerlässlich. Sie verflüssigt Helium bei  $-269\text{ °C}$ , nur wenige Kelvin-Grade über dem absoluten Nullpunkt. Ihre Wartung und ihre Bedienung einschliesslich der Aufbereitung des zurückgeführten Heliumgases erfordern höchste Präzision sowie das Fachwissen von Roland Rüfenacht und Rolf Zwahlen. Sie haben sich über Jahre hinweg das notwendige Spezialwissen angeeignet, um die Anlage optimal zu betreiben.

Die technische und umweltrelevante Verbesserung dieser Anlage wurde erst kürzlich umgesetzt. Ohne die vielen Inputs der Spezialisten des Technischen Dienstes hätte ein externer Dienstleister Wochen gebraucht, um sich mit den spezifischen Bedürfnissen vertraut zu machen.



Das flüssige Helium wird behutsam zum Labor für Gleichstrom und Niederfrequenz gebracht.

### Innovation und Energieeffizienz

In Zeiten des Klimawandels und steigender Energiekosten spielt die Energieeffizienz eine immer grössere Rolle. Hier zeigt sich die Innovationskraft des Technischen Dienstes besonders deutlich. Durch den Einsatz modernster «Smart Building»-Technologien gelingt es dem Team, den Energieverbrauch kontinuierlich zu optimieren, ohne Kompromisse bei der Genauigkeit einzugehen.

Durch die Installation eines intelligenten Beschattungssystems, das sich automatisch an die Tageslichtbedingungen anpasst, konnten somit die Energiekosten um 15% gesenkt werden. Gleichzeitig sorgt das System für optimale Lichtverhältnisse in unseren Laboren, was die Arbeitsqualität und -sicherheit erhöht.

### Herausforderungen meistern 24/7

Eine der grössten Herausforderungen für Roland Rüfenacht, Heinz Strässler, Rolf Zwahlen und den Teamleiter des Technischen Dienstes, Dmitry Beer, ist die Notwendigkeit, rund um die Uhr einsatzbereit zu sein. Der Pikettdienst für die technische Infrastruktur stellt sicher, dass auch ausserhalb der regulären Arbeitszeiten immer ein Experte zur Verfügung steht, um auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren.

Diese Bereitschaft ist entscheidend, denn viele der Messungen und Experimente laufen über lange Zeiträume und sind äusserst empfindlich gegenüber Störungen. Im Labor für Zeitmesstechnik laufen Atomuhren, die so genau sind, dass sie in einer Million Jahre nur um eine Sekunde abweichen würden. Ein kurzer Ausfall der Klimaanlage oder eine Schwankung in der Stromversorgung könnte die Genauigkeit dieser Uhren beeinträchtigen und Wochen oder gar Monate Arbeit zunichtemachen!



Roland Rüfenacht füllt einen Tank mit 450 Litern flüssigem Helium.



Die Funktionsfähigkeit der dieselgetriebenen Notstromanlage wird monatlich getestet.

Die Mitarbeiter des Technischen Dienstes müssen daher nicht nur technisch versiert sein, sondern auch die Fähigkeit besitzen, unter Druck ruhig und effektiv zu arbeiten. Regelmässige Schulungen und Übungen stellen sicher, dass das Team für alle Eventualitäten gerüstet ist.

#### Planung für die Zukunft

Die Expertise des Technischen Dienstes geht weit über die reine Inspektion und Wartung hinaus. Bei Neu- und Umbauten bringen die Spezialisten vom Team ihr Know-how ein, um sicherzustellen, dass die METAS-Labore auch in Zukunft zu den modernsten und genauesten der Welt gehören.

Ein aktuelles Beispiel ist die Planung eines neuen Quantenmetrologielabors. Hier arbeitet der Technische Dienst eng mit den Wissenschaftlern zusammen, um eine Umgebung zu schaffen, die den extrem hohen Anforderungen dieser Zukunftstechnologie gerecht wird. Dabei müssen Aspekte wie Vibrationsfreiheit und Temperaturstabilität auf einem Niveau berücksichtigt werden, das vor wenigen Jahren noch als unmöglich galt.

Als Ansprechpartner für den Gebäudebesitzer, das Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL), spielt der Technische Dienst eine Schlüsselrolle bei der langfristigen Planung und Entwicklung der METAS-Infrastruktur. Die detaillierte Energiebuchhaltung, die für das BBL geführt wird, ist dabei ein wichtiges Instrument für die nachhaltige Gestaltung des Energieverbrauchs des Instituts. Sie hilft, Einsparpotenziale zu identifizieren und den Erfolg der eingeführten Effizienzmassnahmen zu quantifizieren.

Weiterhin unterstützen der Technische Dienst und der Leiter des Bereichs Infrastruktur und Logistik das BBL, Architekten und diverse Fachingenieure bei der bedarfsgerechten und anspruchsvollen Planung eines erforderlichen Erweiterungsbaus für Labore. Für die Umsetzung der Laborstrategie des Bundes und aufgrund des Wachstums des METAS in den letzten Jahrzehnten wird dieser Bau in wenigen Jahren unerlässlich sein, wie auch weitere Projekte, die direkt und indirekt mit diesem Grossprojekt verknüpft sind.

#### Ein unverzichtbarer Teil des METAS

Die Anforderungen an den Technischen Dienst werden in Zukunft weiter steigen. Die fortschreitende Digitalisierung, der Trend zu noch präziseren Messungen, die wachsende Bedeutung von Energieeffizienz und Nachhaltigkeit und die anstehende Erweiterung des METAS stellen den Technischen Dienst vor neue Herausforderungen.

#### Zahlen und Fakten

Um die Bedeutung und den Umfang der Arbeit des Technischen Dienstes zu verdeutlichen, hier einige beeindruckende Zahlen:

- Arealfläche: 35485 m<sup>2</sup>
- Bebaute Fläche: 15400 m<sup>2</sup>, davon 4900 m<sup>2</sup> Laborflächen
- 1000 Wartungs- und Reparaturaufträge pro Jahr
- 15% weniger Energieverbrauch in den letzten 5 Jahren
- 50 Piketteinsätze pro Jahr ausserhalb regulärer Arbeitszeiten

Durch ihre Arbeit im Hintergrund ermöglichen die stillen Helden des Technischen Dienstes Roland Rüfenacht, Rolf Zwahlen und Heinz Strässler den Wissenschaftlern und Ingenieuren, sich voll und ganz auf ihre anspruchsvollen Messaufgaben zu konzentrieren und Messungen von Weltklasse durchzuführen – im Wissen, dass die technische Infrastruktur zuverlässig die bestmöglichen Bedingungen bietet. In einer Welt, in der Genauigkeit und Zuverlässigkeit von höchster Bedeutung sind, ist der Technische Dienst des METAS der Garant dafür, dass das METAS diesen Ansprüchen gerecht werden und unsere Position als eines der führenden metrologischen Institute der Welt behaupten kann. ●

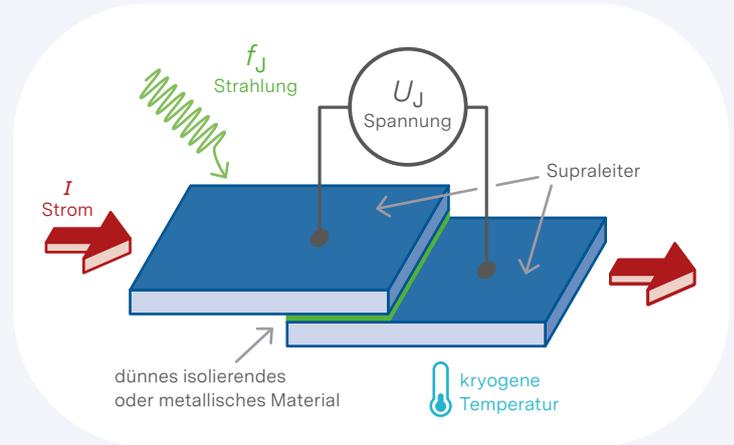
## Prinzip

Der Josephson-Effekt ist ein physikalisches Phänomen, das bei niedrigen Temperaturen auftritt, wenn zwei Supraleiter nahe beieinander liegen. Wenn zwischen ihnen eine Barriere oder eine Verengung besteht, wird auf diese Weise ein Josephson-Kontakt gebildet.

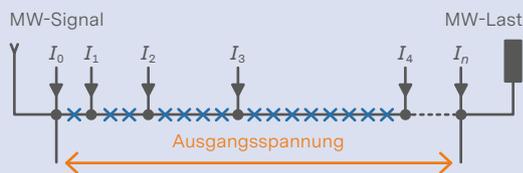
Beim Josephson-Wechselstromeffekt kann Mikrowellenstrahlung an einem stromdurchflossenen Josephson-Kontakt eine quantisierte Gleichspannung induzieren. Dadurch verhält sich ein Josephson-Kontakt wie ein perfekter Frequenzspannungswandler, wodurch ein Josephson-Spannungsnormale entsteht. Diese Spannung hängt nur von der Frequenz der Strahlung und von zwei Naturkonstanten ab, der Planck-Konstante und der Elementarladung.

## Elektrizität

# Realisierung des Volt



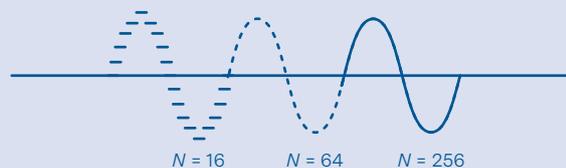
## Josephson-Schaltungen: Spannungsnormale und programmierbare Reihenschaltungen



Schematische Ansicht einer Josephson-Schaltung, die in eine binäre Sequenz mit unabhängigen Stromquellen ( $I_n$ ) unterteilt ist.

Ein Josephson-Kontakt, der einer Mikrowellenstrahlung mit einer Frequenz von 70 GHz ausgesetzt wird, erzeugt eine erste Spannungsstufe ( $n = 1$ ) von 145  $\mu$ V. Man muss also mehrere Zehntausend Kontakte in Reihe anordnen, um Josephson-Schaltungen zu erhalten, mit denen man zwischen 1 V und 10 V kalibrieren kann.

Man spricht von einem programmierbaren Josephson-Spannungsnormale (PJVS), wenn man die Kontakte nach Zweierpotenzen in einer binären Sequenz gruppiert, wobei jedes Segment einzeln kontrolliert wird.



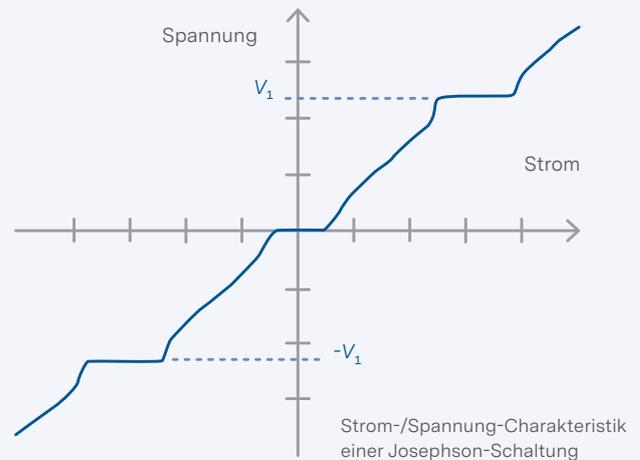
Sinusförmige Wellenformen, die von binären Sequenzen von Reihenschaltungen mit  $N$ -Kontakten erzeugt werden.

Variable Spannungen können ebenfalls mithilfe von Pulsmustern mit variabler Wiederholungsfrequenz, auch Josephson-Synthesizer mit beliebiger Wellenform (JAWS) genannt, realisiert werden.

## Josephson-Spannung

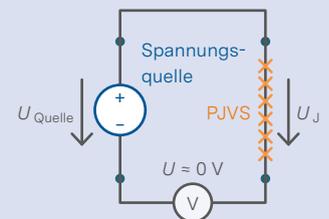
$$U_J = \frac{h}{2e} n \times f_J = \frac{n}{K_J} \times f_J$$

$h = 6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$  J s (Planck-Konstante)  
 $e = 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$  C (Elementarladung)  
 $n$  (Stufenindex (ganze Zahl))  
 $f_J$  (Frequenz von Mikrowellenstrahlung)  
 $K_J = 483\ 597,848\ 416\ 984$  GHz/V



## Schema für die Kalibrierung

Die Kalibrierung einer Spannungsquelle erfolgt mittels eines Vergleichs mit einem Normal bei der gleichen Spannung, z. B. einer Josephson-Schaltung, wobei der Spannungsunterschied so nah wie möglich bei 0 V liegen muss.



**1911**  
Entdeckung des Phänomens der Supraleitung durch Heike K. Onnes.



**1962**  
Theoretische Entdeckung des Josephson-Effekts durch Brian D. Josephson.



**1973**  
Nobelpreis für Physik an Brian D. Josephson.



**2019**  
Festlegung der Planck-Konstante  $h$  und der Elementarladung  $e$ .  
Neudefinition des Ampere.

## Prinzip

Der Quanten-Hall-Effekt tritt in bestimmten Arten von dünnen Schichten auf, deren Elektronendynamik einem zweidimensionalen Gas entspricht, d. h., das Elektronengas ist frei, sich in zwei Dimensionen zu bewegen, ist aber stark in der dritten beschränkt. Solche Anordnungen finden sich in Halbleitern, insbesondere in Feldeffekttransistoren mit isoliertem Gate (MOSFET), wo der quer zur Stromrichtung verlaufende Hall-Widerstand quantisiert ist und Stufen aufweist.

Der Quanten-Hall-Effekt tritt bei sehr niedrigen Temperaturen und starken Magnetfeldern auf. Er hängt nur von zwei Naturkonstanten ab, der Planck-Konstante und der Elementarladung.

## Hall-Widerstand

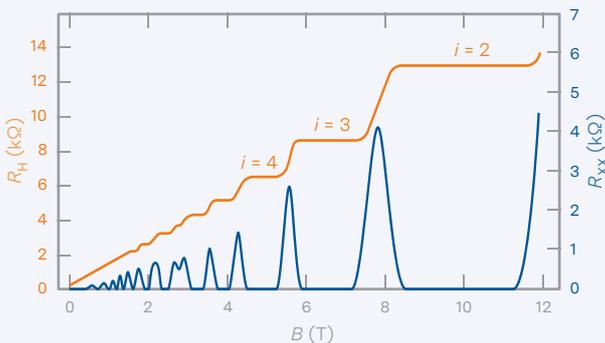
$h = 6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}\ \text{J s}$   
 Planck-Konstante

$R_K = 25\ 812,870\ 459\ \text{Ohm}$

Widerstand von Hall  $R_H = \frac{1}{i} \times \frac{h}{e^2} = \frac{R_K}{i} = \frac{V_H}{I}$

Stufenindex (ganze Zahl)

Elementarladung  $e = 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}\ \text{C}$

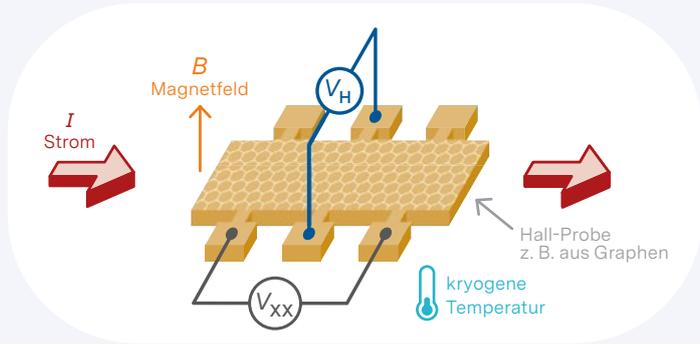


## Quanten-Hall-Effekt in Graphen

Graphen ist ein zweidimensionales, kristallines Material, das aus Kohlenstoff besteht. Es bildet das grundlegende Strukturelement von Kohlenstoffanordnungen wie Graphit, Kohlenstoffnanoröhren und Fullerenen.

Das Elektronengas von Graphen ist zweidimensional, und es tritt ein Quanten-Hall-Effekt bei höheren Temperaturen, niedrigeren Magnetfeldern und höheren Strömen als in Halbleitermaterialien auf.

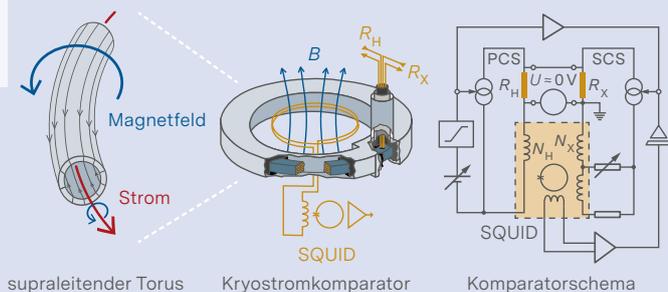
# Realisierung des Ohm



## Kryogener Stromkomparator

Der Kryostromkomparator (CCC) ermöglicht die Kalibrierung eines Widerstands gegen einen QHR-Standard (Quanten-Hall-Widerstand). Im Gleichgewicht sind die beiden Ströme, die durch die beiden verglichenen Widerstände fließen, genau im umgekehrten Verhältnis dieser Widerstände:  $I_H \times R_H = I_X \times R_X$ . Die Windungszahlen von zwei in Reihe geschalteten Wicklungen werden so gewählt, dass die zusätzliche Bedingung  $I_H \times N_H = I_X \times N_X$  erfüllt ist.

Deshalb sind die Wicklungen in einem supraleitenden Torus untergebracht, über dessen Umfang ein Strom fließt, der dem in den Wicklungen fließenden Netto-Reststrom entgegengesetzt ist (Meissner-Effekt). Das durch diesen Strom induzierte Feld kann durch einen hochempfindlichen Sensor (SQUID) erfasst und durch eine Stromquelle, die vom SQUID-Signal (SCS) gesteuert wird, auf null gesetzt werden. Der Gleichgewichtszustand kann mit einer Genauigkeit im Bereich von  $10^{-9}$  erreicht werden.



## Geschichte

Elektrische Einheiten werden mithilfe des Ohm und des Volt realisiert. Das ohmsche Gesetz verbindet die elektrischen Größen Spannung (Volt), Widerstand (Ohm) und Stromstärke (Ampere) direkt miteinander. Seit den 1990er-Jahren werden die Einheiten von Widerstand und Spannung mithilfe der Effekte Quanten-Hall und Josephson realisiert.



1980

Entdeckung des Quanten-Hall-Effekts durch Klaus von Klitzing.



1985

Nobelpreis für Physik an Klaus von Klitzing.



2005

Entdeckung des Quanten-Hall-Effekts in Graphen durch Andre Geim und Konstantin Novoselov.



2010

Nobelpreis für Physik an Andre Geim und Konstantin Novoselov.



2019

Festlegung der Planck-Konstante  $h$  und der Elementarladung  $e$ .

Neudefinition des Ampere.

# Die Candela oder die menschliche des internationale Einheitensystems



# he Seite n

Dr. Hugo Lehmann

---

Alle Einheiten sind menschengemacht. Die Natur braucht weder die Sekunde, den Meter noch das Kilogramm. Schliesslich ist die Definition der Einheiten beliebig. Während die meisten Europäer – hier darf man für einmal sogar die Schweizerinnen und Schweizer dazuzählen – die zurückgelegte Distanz in Meter messen, findet man im britischen Empire – ja das ist bewusst so formuliert – und seinen ehemaligen nordamerikanischen Kolonien auch heute noch Längenangaben in Inch, Yard oder Fuss. Sogar die Distanz zum Mars wird manchmal in Fuss ausgedrückt, was auch schon mal ins Auge oder wohl in diesem Fall in den Mars gehen kann.<sup>1</sup> Wäre hier vielleicht doch der Meter oder vielleicht gar die Anzahl Flügelschläge des imperialen Adlers angebracht gewesen? Egal ob in Meter oder Fuss gemessen, Distanzen zurücklegen gibt Durst. Will man eben diesen Letzteren auf der anderen Seite das Ärmelkanals löschen, trinkt man auch nicht ein Litermass wie am Oktoberfest, sondern ein Pint. Ob das jetzt bedeutet, dass die Bayern eher masslos über den Durst trinken als die Briten, sei hier einmal dahingestellt. Aber man bekommt doch den Eindruck, dass Briten oder Amerikaner das SI-System gelegentlich vergessen oder allenfalls auch einmal als Fake News abtun könnten.

Nichtsdestotrotz haben diese alten imperialen Einheiten doch etwas zutiefst Menschliches. Ja, sie sind geradezu Wächterinnen des anthropozentrischen Weltbildes. Ist nicht ein Fuss eine Einheit, die schlechthin die menschliche Dimension illustriert? Oder ist nicht ein oder vielleicht auch mal zwei Pints die exakt richtige Menge Bier, um einem Durchschnittsmenschen den Durst zu löschen? Trotzdem würde ein Schweizer Automobilist nach zwei Pints bei der polizeilichen Atemalkoholkontrolle mit hoher Wahrscheinlichkeit die gesetzliche Schwelle von 0,5 Promille im Blut wohl kaum einhalten. Er wird dann seinen Weg wieder zu Fuss auf sich nehmen müssen, aber bekanntlich ist ja der Weg das Ziel...

Jeder kartesische Wissenschaftler wird es als Glück bezeichnen, dass sich das SI-Einheitensystem von solch intersubjektiven Definitionen verabschiedet hat und seit 2019<sup>2</sup> mittels harter, objektiver Naturkonstanten definiert ist.

Weg von dieser subjektiven Gefühlsduselei mit Bezug auf den Menschen und seine stinkenden Füssen. Nichts mehr von den auf grossem Fuss lebenden britischen Lords oder der Ellenlänge des ägyptischen Pharaos! Die Einheiten haben schliesslich auch eine politische Dimension. Seit der Aufklärung und der Französischen Revolution hat sich der Meter von der absoluten monarchischen Hegemonie emanzipiert und die Längeneinheit demokratisiert. Die moderne Metrologie ist damit auch ein Kind der postrevolutionären Weltordnung!

In unserer technokratischen Gesellschaft ist die menschliche Dimension immer mehr in den Hintergrund gerückt. Das Ultrakleine und das Virtuelle dominieren unser Leben aus der Tiefe des Smartphones, und die Schnelllebigkeit unserer Zeit misst sich nicht mehr nur in Stunden oder Minuten, sondern seit 2022<sup>3</sup> auch in Rontosekunden<sup>4</sup> oder die Unmengen der mit künstlicher Intelligenz generierten Daten in Quettabytes<sup>4</sup>.

Aber als kritische Kinder der Aufklärung wollen wir das SI-Einheitensystem doch noch etwas genauer unter die Lupe nehmen. Ist die menschliche Komponente wirklich vollkommen aus diesem logisch-sterilen System verschwunden oder gibt es nicht doch noch eine letzte Bastion des Humanismus? Ich weiss nicht, welche Variante philosophisch erstrebenswerter ist. Aber ich weiss ja, dass ich nichts weiss...

Die Sekunde basiert auf einem atomaren Übergang, der Meter auf der Lichtgeschwindigkeit, das hat nun aber auch gar nichts mit menschlichen Dimensionen zu tun. Weiter zum Kilogramm, welches metrologisch seit 2018 mit dem planckschen Wirkungsquantum  $h$  liiert ist. Aha, Herr Planck trägt also sein Quäntchen zur Definition des Kilogramms bei. Wie? Wurde etwa die Masse von Herrn Planck genutzt, um die Kilos oder vielleicht auch mal eines zu viel auf die Waage zu bringen? Weit gefehlt, Herr Planck gibt dieser Naturkonstante, welche die Proportionalität zwischen der Frequenz einer Schwingung und der damit verbundenen Quantenenergie beschreibt, bloss seinen Namen. Schliesslich hat er diese trendigen Quanten postuliert. Beim Ampere (auch hier war Monsieur Ampère lediglich der Namensgeber) und dem Mol zählt man ganz einfach die Elektronen oder Teilchen. Was gibt es Objektiveres als Zählen? Eins, zwei, drei, vier ...

Also weiter auf unserer Suche, es bleiben ja noch die Basiseinheiten Kelvin und Candela übrig. Beim Kelvin, der Einheit der Temperatur, werden sogar zwei eminente Physiker, die sich mit der Materie auseinandersetzen, zuhelfe gezogen: Lord Kelvin gibt der Einheit (mit der man eben zählt) seinen Namen, während Ludwig Boltzmann die definierende Naturkonstante benamst. Aber die Boltzmannkonstante hat – obwohl Boltzmann eine anfällige Gesundheit hatte – nichts mit einem Fieberanfall vom armen Ludwig zu tun, sondern beschreibt den uni-

versellen Zusammenhang der Temperatur mit der thermischen Energie. Sogar bei hohen Temperaturen finden wir auch hier keine warme, humane Note. Das SI-Einheitensystem positioniert sich immer noch kartesisch kalt am absoluten Nullpunkt.

Wie steht's aber um die Candela? Schon der Name erscheint etwas speziell, stammt wohl etymologisch von der Kerze ab und erinnert an Weihnachten, Religion oder aber einen möglichen, kommenden Blackout... Nun, wie dem auch sei, die Candela ist wie folgt definiert:

*«Die Candela, Einheitenzeichen cd, ist die SI-Einheit der Lichtstärke in einer bestimmten Richtung. Sie ist definiert, indem für das photometrische Strahlungsäquivalent  $K_{cd}$  der monochromatischen Strahlung der Frequenz  $540 \cdot 10^{12}$  Hz der Zahlenwert 683 festgelegt wird, ...»<sup>5</sup>*

Ausser einer komplizierten Formulierung ist also auch hier nichts Menschliches zu finden. Die Candela ist über den fixen Wert der Konstante  $K_{cd}$  definiert. Was aber versteckt sich hinter diesem doch etwas verdächtigen Namen «photometrisches Strahlungsäquivalent»? Welche fundamentale physikalische Konstante? Äquivalent lässt hinsichtlich Universalität wenig Gutes erahnen. Lasst uns daher versuchen, mit einigen Kerzen auf einem Kandelaber, Licht in diese Dunkelheit zu bringen.

Eigentlich würde ja für die Bestimmung der Intensität von Licht (oder allgemeiner elektromagnetischer Wellen) die Leistung gemessen durch eine Einheitsfläche als Einheit genügen und wir bräuchten gar keine Basiseinheit. Aber die Candela ist eben etwas mehr: Es ist die Stärke des Lichtes einer gegebenen Frequenz und noch dazu in eine bestimmte Richtung. Warum das? Die Lichtstärke wird durch das  $K_{cd}$  auf den menschlichen Beobachter zurückgeführt und sagt aus, wie effizient der Strahlungsfluss



einer gegebenen Frequenz auf das menschliche Auge einwirkt. Zudem wird der historischen Kompatibilität zuliebe auf das Kerzenlicht Bezug genommen, welches früher zur Messung der Lichtstärke benutzt worden ist. Der alte Lateiner kann sich jetzt auch den Namen Candela erklären. Das bedeutet nicht zuletzt, dass die Candela über  $K_{cd}$  durch ein typisch menschliches Auge definiert ist. Hier haben wir also die letzte Bastion des Menschen im SI-Einheitensystem gefunden. Was ein typisches menschliches Auge ist, bleibe einmal dahingestellt.

Uff, dank der Candela haben sogar die faktenbasierten und erbsenzählenden Metrologen noch ein bisschen Menschlichkeit in ihrem SI-System zugelassen. Einerseits ist da der Humanist in mir ganz froh, während der kartesische Wissenschaftler etwas betrübt in die Wäsche schaut. Na ja, was schon Goethes Faust zu sagen pflegte: «Zwei Seelen wohnen, ach! in meiner Brust!»,<sup>6</sup> gilt auch für mich.

Die sieben Basiseinheiten und im Innern des Kreises die dazugehörigen, definierenden Naturkonstanten.

Warum aber dem Auge diese Ehre zukommt und nicht etwa dem Ohr, wo die wahrgenommene Lautstärke auch von der Frequenz des Tones, der Richtung sowieso und damit dem Ohr abhängt, ist mir als Musikliebhaber schleierhaft. Ist der Grund etwa, dass wir Menschen in einer visuell geprägten Gesellschaft leben? Oder haben sogar die Hüter der SI-Einheiten in Paris sich nicht gegen die göttliche Macht stellen wollen? Denn schon in der Genesis heisst es:

«Im Anfang schuf Gott die Himmel und die Erde. Und die Erde war wüst und leer, und Finsternis war über der Tiefe; und der Geist Gottes schwebte über den Wassern. Und Gott sprach: Es werde Licht! und es war Licht. Und Gott sah das Licht, dass es gut war.»<sup>7</sup>

Item, aller kartesischen Anwendungen zum Trotz hat es der Mensch auch heute noch geschafft, sich in die objektive Definition des SI-Einheitensystems hineinzuschmuggeln.

Vielleicht ist es auch der Grund, warum wir in der dunklen Zeit um Weihnachten gerne eine Kerze anzünden. Das weiche Licht gibt uns Wärme und Geborgenheit. Ist es dieses Gefühl nicht wert, eine SI-Basiseinheit für die Lichtstärke zu definieren, die eine menschliche «Naturkonstante» als Grundlage hat?

Johann Sebastian Bach hat das in seiner Johannes-Passion in einer wunderschönen Aria schon lange vorweggenommen und dem folgenden Text himmlisch schöne Musik unterlegt:

«Ich folge dir gleichfalls mit freudigen Schritten, Und lasse dich nicht, Mein Leben, mein Licht.»

Dem werten Leser sei empfohlen, sich dieses Bach'sche Meisterwerk einmal anzuhören<sup>8</sup>, denn Sehen allein ist nicht alles... ●

### Etymologie des Wortes Candela

Aus dem Lateinischen entlehnt, bedeutet «candela» in Deutsch Kerze oder Licht. Der Name der Einheit weist auf die Anfänge der Lichtmesstechnik hin: Um die Lichtstärke bestimmen zu können, stützte man sich auf Kerzen als Referenzlichtquellen, mit denen eine zu messende Lichtquelle verglichen werden konnte.

Eine Lichtstärke von 1 Candela entspricht einer Strahlstärke von  $1/683$  Watt pro Steradian bei einer Frequenz von  $540 \times 10^{12}$  Hz.

- 1 <https://science.nasa.gov/mission/mars-climate-orbiter/>
- 2 <https://www.bipm.org/en/measurement-units>
- 3 <https://www.bipm.org/en/cgpm-2022/resolution-3>
- 4 ronto (kleingeschrieben da wirklich ganz, ganz klein, schon eher mickrig), steht hier für  $10^{-27}$  und Quetta (Grossschreibung, da wirklich mega, mega, mega, mega GROSS) für  $10^{30}$ .
- 5 [https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/forschung\\_entwicklung/countdown\\_new\\_si/Lesezeichen\\_zum\\_neuen\\_SI.pdf](https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/forschung_entwicklung/countdown_new_si/Lesezeichen_zum_neuen_SI.pdf)
- 6 Johann Wolfgang von Goethe, Faust, der Tragödie erster Teil
- 7 Genesis, 1,1 – 1,5
- 8 <https://youtu.be/nhq1OI-WSxU?si=TeX8FAYu2WVZ8tn>

## In Kürze

# Der Beitrag von METAS zu Klima- und Ozeanbeobachtungen

Während der letzten fünf Jahre war **Céline Pascale**, Bereichsleiterin am METAS, als Vizepräsidentin aktiv am Aufbau des Europäischen Metrologienetzwerks für Klima- und Ozeanbeobachtungen (EMN for Climate and Ocean Observations) beteiligt. Das EMN fördert Partnerschaften zwischen Messspezialisten und Gemeinschaften, die Klima- und Ozeanbeobachtungen durchführen. So stellt die Metrologie das Fachwissen bereit, das für die genaue und zuverlässige Überwachung der essenziellen Klima- und Ozeanvariablen erforderlich ist. METAS profitiert davon direkt in seiner Referenzfähigkeit für Gase und Partikel im Besonderen.



## Dr. Cédric Blaser erhielt den IEC 1906 Award

Der Leiter des Labors Elektrische Energie und Leistung am METAS, **Dr. Cédric Blaser**, erhielt den IEC 1906 Award für seinen Einsatz für die Normung von Elektrizitätszählern. In den letzten Jahren war er aktiv an der Erstellung und Überarbeitung von mehr als zehn Normen auf europäischer und internationaler Ebene beteiligt. Er ist Mitglied des Technischen Komitees Messung und Kontrolle elektrischer Energie (IEC TC 13).

Von den 228 IEC 1906 Awards, die im Jahr 2024 verliehen wurden, gingen fünf an Schweizer Experten.

# Neuer Leiter Bereich Metrologie in der Physik

**Ulrich Schlapbach** hat Anfang Januar 2025 die Leitung des Bereichs Metrologie in der Physik 2 übernommen. Schlapbach hat an der ETH Zürich Elektronik studiert und verfügt über eine langjährige Karriere bei ABB, wo er in verschiedenen Positionen und Bereichen tätig war. In dieser Zeit hat er mehrere grosse Entwicklungs- und Innovationsgruppen sowie Grossprojekte geleitet.

Wussten Sie,  
dass das METAS als  
Eidgenössisches  
Institut für Metrologie  
über mehr als  
**6400**  
Messinstrumente  
verfügt?

Diese Instrumente und das fundierte Experten-Fachwissen unserer Mitarbeitenden ermöglichen genaue und rückführbare Messungen für vielfältige Anwendungen. Durch die Instandhaltung, Erneuerung, Weiterentwicklung der Messinstrumente sowie die Entwicklung neuer Methoden bleibt das METAS an der Spitze der internationalen Metrologie und garantiert erstklassige Leistungen.

## Filmempfehlung

# The Last Artifact – ReDefining the Universe



Der Film in  
Englisch ist  
auf [pbs.org](https://pbs.org)  
anzusehen.



In 2018 wurde das Kilogramm neu definiert: der Metallzylinder, der seit der Französischen Revolution als internationaler Gewichtsstandard galt, wurde stillgelegt. Dieses Ereignis war und ist ein wichtiger Meilenstein in der Geschichte der Metrologie. Der Film «The Last Artifact – ReDefining the Universe» dokumentiert die historische Bedeutung des Zylinders bis dahin und die Auswirkungen auf das Alltagsleben.

## Bachelorstudentin am METAS wird mit dem Max-Lüthi-Preis geehrt



Der Max-Lüthi-Preis zeichnet junge Forschende für ihre hervorragenden Bachelorarbeiten an einer Schweizer Fachhochschule im Bereich Chemie aus. **Céline Spack**, die diesjährige Gewinnerin des Preises, hat ihre Bachelorarbeit in Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg (HEIA-FR) am METAS erarbeitet. Für ihre Arbeit hat Céline Spack an einer Torfbestimmungsmethode mit langkettigen Alkanen gearbeitet. In den Laboren des METAS testete sie, ob sich diese Biomarker als Indikatoren für Torf in Pflanzenerde eignen.



## METAS-Preis für Physik geht an Simon Scheidegger

Anlässlich der Jahrestagung der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft an der ETH Zürich im September 2024 wurde der METAS-Preis für Physik 2024 an **Simon Scheidegger** verliehen. Zur Bestimmung der Frequenz von Elektronübergängen zu Zuständen mit hohen Quantenzahlen im Wasserstoffatom hat Simon das auf das internationale Einheitensystem rückverfolgbare Frequenzverteilungsnetzwerk des METAS verwendet. Mit den Resultaten seiner ausgezeichneten Doktorarbeit konnte er einen genaueren Wert für die Rydberg-Konstante und die Grösse des Protons bestimmen.

## Dr. Andrea Rösch gewinnt den METAS-Preis für Chemie und Biologie

Das METAS ehrt mit einem Preis junge Forschende für einen herausragenden Beitrag auf dem Gebiet der Metrologie in Chemie und/oder Biologie.

**Dr. Andrea Rösch** hat 2024 den METAS-Preis für Chemie und Biologie für ihre ausgezeichnete Arbeit an der Agroscope über die Entwicklung einer umfassenden Messmethode für rund 150 Pestizide in Böden erhalten. Die Methode beruht auf der Quantifizierung mittels 95 isotopenmarkierter interner Standards, welche die Matrixeffekte der Bodenproben kompensieren. Die neue Messmethode ermöglicht eine genaue Überwachung von Pestizidrückständen in landwirtschaftlichen Böden.



A. Rösch et al. A multi-residue method for trace analysis of pesticides in soils with special emphasis on rigorous quality control, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Volume 415, p. 6009–6025, 2023, <https://doi.org/10.1007/s00216-023-04872-8>





International

# Die Internationale Messtechnische Konföderation IMEKO

Ende August 2024 fand in Hamburg der Weltkongress der Internationalen Messtechnischen Konföderation, kurz IMEKO, statt. Auch das METAS war an diesem Kongress mit verschiedenen Beiträgen vertreten. Nur, wer kennt diese Organisation und was bezweckt die IMEKO? Grund genug, diese Institution etwas näher vorzustellen.

Dr. Hugo Lehmann

Der technologische Fortschritt und die Globalisierung sind ohne die Vereinheitlichung der Masseinheiten, aber auch die dazugehörigen Messmethoden nicht denkbar. Erst damit werden internationale Normen und Standards sowie die globale Kompatibilität der Technologie überhaupt ermöglicht. Hier setzt die IMEKO an, ihr Ziel ist die Förderung des internationalen Austausches von Wissen im Bereich der Messtechnik. Heute sind über 40 Länder aus aller Welt in der IMEKO vertreten, darunter auch die Schweiz. Die Schweizerische Gesellschaft für Automatik (SGA) fungiert dabei als schweizerische Mitgliederorganisation, während das METAS als nationales Metrologieinstitut im Namen der SGA den nationalen Delegierten stellt.<sup>1</sup>

Die IMEKO ist seit ihrer Gründung 1958 als Verein in Ungarn domiziliert. Zieht man in Betracht, dass die ungarische Revolution nur gerade zwei Jahre vorher von der Sowjetunion niedergeschlagen worden war, mag dies erstaunen. In diesem historischen Kontext eine internationale Organisation zu gründen, welche sich für den Austausch zwischen Ost und West einsetzt, zeugt jedoch von Mut, Überzeugung und Weitsicht der Gründer der IMEKO.<sup>2</sup>

### Technische Komitees

Die wissenschaftlich-technische Arbeit der IMEKO findet im Rahmen der 25 technischen Komitees<sup>3</sup> (TK) statt. Diese sind weitgehend autonom und organisieren thematische Konferenzen, Symposien und Workshops zur Förderung des wissenschaftlichen Austausches. Dabei wurden im Laufe der Zeit auch immer wieder neue Themenfelder bearbeitet. So wurde das TK «Quantum Measurement and Quantum Information» erst 2021 ins Leben gerufen. Die Schweiz ist in mehr als der Hälfte der TK vertreten. Seitens METAS ist besonders die aktive Beteiligung im TK9 «Flow Measurement» hervorzuheben.

### World Congress 2024 in Hamburg

Alle drei Jahre findet ein IMEKO-Weltkongress statt, an welchem alle TK teilnehmen. Ende August 2024 fand dieser<sup>4</sup> in der Hansestadt Hamburg statt. Unter dem lokalen Motto «Moin» hatte der Präsident der IMEKO, Prof. Frank Härtig – seines Zeichens ebenfalls Vizepräsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) –, die IMEKO Community in Deutschland begrüsst. Über 1100 Teilnehmende haben sich vom 25. bis 29. August im renovierten Kongresszentrum in Hamburg getroffen. Dort fanden



IMEKO 2024 Konferenzteilnehmer im Plenarsaal des Kongresszentrums Hamburg.

sie ausgezeichnete Bedingungen vor für eine Woche mit zahlreichen Vorträgen, Postern und vor allem den vielen Austauschmöglichkeiten. Abgerundet wurde der Kongress mit der Möglichkeit, verschiedene Firmen in der Region Hamburg sowie die PTB in Braunschweig zu besuchen. Wer den tollen Kongress in Hamburg verpasst hat, kann sich bereits auf den nächsten IMEKO-Weltkongress 2027<sup>5</sup> in Rimini an der Adria freuen.

### Publikationsorgane von IMEKO

Neben der Organisation von Kongressen und technischen Meetings verfügt die IMEKO über eigene Publikationsorgane. Einerseits ermöglicht die Open-Access-Online-Zeitschrift «Acta IMEKO»<sup>6</sup> einen direkten Zugang zu Publikationen der TK der IMEKO. Andererseits ist die IMEKO-Zeitschrift «Measurement»<sup>7</sup> eine Referenz für Publikationen im Feld der Messtechnik.

### Zu guter Letzt

Einen Schweizer Beitrag über die IMEKO wäre nicht vollständig, wenn man nicht Karl Ruhm erwähnen würde. Karl hat neben seiner Tätigkeit an der ETH Zürich während 25 Jahren die Schweiz als Delegierter in der IMEKO vertreten.<sup>8</sup> Ihm gebührt ein grosser Dank für seine unermüdliche Tätigkeit für die IMEKO, aber auch für die Messtechnik im Allgemeinen.

Der globale Austausch über alle politischen Grenzen hinweg war nicht nur in den Gründungsjahren der IMEKO wichtig, sondern hat auch im heutigen geopolitischen Umfeld seine Relevanz bewahrt. Institutionen wie die IMEKO bieten dazu eine notwendige Plattform. Setzen wir uns daher ein, solche Möglichkeiten zu erhalten. Wir wünschen der IMEKO auch weiterhin viel Erfolg! ●

1 <https://www.sga-asspa.ch/verein/fachdelegierte>

2 <https://sztaki.hun-ren.hu/en/current/news/2018/nobel-prize-holders-aircraft-turbines-and-new-hungarian-members-success-imeko>

3 <https://www.imeko.org/index.php/technical-committees>

4 <https://www.imeko2024.org/home>

5 <https://imeko2027.org/>

6 <https://acta.imeko.org/>

7 <https://www.sciencedirect.com/journal/measurement>

8 <https://www.imeko.org/images/imeko/Newsletternovember2022.pdf>

## Kurse

# Wissenstransfer für alle

Das Bundesgesetz über das Eidgenössische Institut für Metrologie sieht vor, dass die Schweizerische Eidgenossenschaft die für die Schweizer Wirtschaft, Forschung und Verwaltung nötige metrologische Infrastruktur und Kompetenz bereitstellen muss. Das METAS erfüllt diese ihm übertragenen Aufgaben, indem es zahlreiche Schulungen in Metrologie anbietet, die für alle offen sind.

Dr. Marc-Olivier André

Ist es wirklich möglich, die Genauigkeit eines GPS-Navigationssystems mit einer Auflösung von 1 m auf eine Hundertstelmilliardstelsekunde genau zu garantieren?

Wie kann ein Hersteller von Kaffeekapseln sicherstellen, dass die angebotene Geschmackspalette stabil bleibt?

Kann man darauf vertrauen, dass ein Strafzettel für zu schnelles Fahren nicht das Ergebnis einer willkürlichen Entscheidung ist?

Der durchschnittliche globale Temperaturunterschied der Erdoberfläche ist im 20. Jahrhundert um 0,7 °C gestiegen. Wie kann man so kleine Veränderungen in so grossem Massstab messen?

In den letzten Jahren wurden jährlich mehr als 1,3 Milliarden Smartphones verkauft. Wie schaffen es die Hersteller, die Qualität von Modellen zu gewährleisten, von denen sich einige über 100 Millionen Mal verkauft haben?

Um solche Leistungen zu erzielen, muss man sie auf präzise, faire, wiederholbare und reproduzierbare Weise objektivieren können. Mit einem Wort: Sie müssen messen!

**«Sie sind den Erwartungen und Bedürfnissen der Teilnehmenden sehr gut gerecht geworden.»**

Helena L., Schweiz

### Von den Messungen der Antike zur Metrologie

Schon in den frühesten Kulturen mussten Messungen (Gewichte, Längen) durchgeführt werden, beispielsweise für Tauschgeschäfte mit Dritten oder für Steuern. Um Anfechtungen seitens der beteiligten Parteien zu vermeiden, entstanden schnell

**«Zweifellos der beste Kurs, an dem ich bisher teilgenommen habe. VNA Tools ist sehr leistungsfähig und gut konzipiert.»**

Thecla C., USA

«Referenzmasse», heute als «Normale» bezeichnet. Doch jedes Land und jede Provinz hatten über Tausende von Jahren ihre eigenen Masseinheiten. Erst im Zuge der Aufklärung und der Französischen Revolution entwickelten französische Wissenschaftler ein Referenzsystem, das sich auf natürliche Bezugsgrößen stützte, die für alle denselben Wert hatten. Die Metrologie, die Wissenschaft des Messens, war geboren und hat sich bis heute immer weiterentwickelt.

### Ausbildung im Unternehmen und flexibler Ansatz

Die Kurse des METAS können auch im Unternehmen oder im Ausland stattfinden. Unser Programm umfasst ein- oder dreitägige Kursmodule, zusammengesetzt aus den Basiskursen, mit Vertiefung spezieller Themen, die auf Ihren Bedarf abgestimmt sind. Auf Anfrage kann das METAS auch neue Kurse entwickeln oder die Vermittlung von Kenntnissen anbieten, die sehr spezielle Themen betreffen.



Das METAS bietet eine Palette von Spezialkursen für bestimmte Branchen oder zu hoch spezialisierten technischen Themen an.

- Der Kurs **Grundlagen der Messunsicherheit** wendet sich an Interessierte, die die Realisierung und Schätzung der Unsicherheit vertiefen wollen, ein Parameter, der zwangsläufig mit jedem Messergebnis verbunden ist. Der theoretische Teil des Kurses wird mit der experimentellen Bestimmung des Wertes und der Unsicherheit der Gravitationskonstante aufgelockert.

### Die Qualitätsinfrastruktur

Die Qualitätsinfrastruktur eines modernen Staates wie der Schweiz ist heute ein System, zu dem öffentliche und private Organisationen gehören. Sie definieren die Richtlinien, den relevanten rechtlichen und regulatorischen Rahmen sowie die erforderlichen Verfahrensweisen zur Unterstützung und Stärkung der Qualität, der Sicherheit und der Umweltverträglichkeit von Gütern, Dienstleistungen und Prozessen. Es herrscht der allgemeine Konsens, dass sich diese Qualitätsinfrastruktur auf drei Hauptsäulen stützt, nämlich auf Metrologie, Normung und Akkreditierung.

Über ein Verständnis der grundlegenden und wesentlichen Prinzipien der Metrologie zu verfügen, ist daher von entscheidender Bedeutung. Das Bundesgesetz über das Eidgenössische Institut für Metrologie (EIMG) sieht in Artikel 2 vor, dass die Eidgenossenschaft über das Institut eine Reihe von Zielen verfolgt, darunter die «Bereitstellung und Vermittlung der für die Schweizer Wirtschaft, Forschung und Verwaltung nötigen metrologischen Infrastruktur und Kompetenz». Neben den Forschungs- und den kommerziellen Leistungen, die das METAS erbringt, wird die Vermittlung von metrologischem Grundlagenwissen mit einem breit angelegten Kursangebot sichergestellt. Diese Kurse wenden sich an alle im Gesetz erwähnten Beteiligten: technische Fachpersonen, wissenschaftliche Mitarbeitende und Kader.



Übersicht  
Kursangebot  
METAS

### Die Grundkenntnisse

In zwei Basiskursen können die Grundkenntnisse in Metrologie erworben werden. Sie bilden das Rückgrat des Kursangebots des METAS:

- Der Kurs **Grundlagen der Metrologie** wendet sich an alle Personen, die einen Tag investieren möchten, um sich einen Überblick über alle wesentlichen Aspekte zu verschaffen: von der Geschichte des internationalen Einheitensystems über Rückführbarkeit, öffentliche und private Regelungen bis hin zur Konformitätsbewertung, um nur einige Themen zu nennen.

### Gezielte thematische Vertiefung

Das METAS bietet eine Palette von Spezialkursen für bestimmte Branchen oder zu hoch spezialisierten technischen Themen an. Diese Kurse finden in regelmässigen Zeitintervallen statt oder bei ausreichender Nachfrage und decken Themen ab wie

- **Messunsicherheit und Konformitätsbewertung:** zuverlässige Bewertung der Konformität eines Produkts oder eines Messergebnisses, insbesondere durch Schätzung der Konformitätswahrscheinlichkeit, die Bestimmung von Annahmebereichen und die Durchführung von Risikoanalysen.
- **VNA Tools Course:** Einführung in eine weltweit genutzte kostenlose Software des METAS für die Analyse und metrologische Quantifizierung von Hochfrequenzsignalen mit einem Vektor-Netzwerkanalysator. Die kostenlose Library METAS UncLib, ein Berechnungstool für die allgemeine Messunsicherheit für alle Fachgebiete, wird ebenfalls vorgestellt.
- **Weg-Zeit-Analyse anhand von Videoaufnahmen:** Bestimmung der Geschwindigkeiten von Fahrzeugen mittels Videoaufnahmen und Wegmessungen.
- **Nanopartikelmessgerätkurs:** Überblick über die gesetzlichen Aspekte und die Herausforderungen bei der Messung von Nanopartikeln von Dieselmotoren.

### Weiterbildung

Die vom METAS angebotenen Kurse sollen den Weiterbildungsbedarf für eine strenge Vorgehensweise im Messwesen decken. Designer, Ingenieure und Techniker, die ihre Kreativität bei der Entwicklung und Einstellung eines GPS-Systems, eines Herstellungsprozesses für Smartphones oder Kaffeekapseln unter Beweis stellen müssen, oder Wissenschaftler, die sich mit dem Gesundheitszustand des Erdklimas befassen, sind darauf angewiesen, Entscheidungen auf der Grundlage zuverlässiger Daten treffen zu können. Die von METAS angebotenen Kurse sind eine der Antworten auf den Bedarf an Weiterbildung für einen rigorosen Ansatz in der Disziplin des Messens. ●

# WELTTAG DER METROLOGIE

20. MAI 2025



## 150 Jahre Metervertrag

*Messungen für alle Zeiten, für alle Menschen*