Das METAS im Jahr 2024

METAS
Ihre Referenz.

Titelbild: Alkalidampfzelle (blaues Röhrchen) für Atome in Rydberg-zuständen mit sichtbargemachten Laserstrahlen (vgl. Beitrag S. 16–17).

Impressum

Dieser Bericht gibt einen Überblick über die Tätigkeiten des METAS im Jahr 2024.

Frühere Jahresberichte des METAS.

Objektivität
Das METAS arbeitet hersteller-, marken- und produkte-neutral. Abbildungen und Erwähnungen, auf denen Hersteller, Marken oder Produkte erkennbar sind, stellen keine Empfehlungen des METAS dar.

Finanzen
Die Seiten 30 und 31 dieses Berichts enthalten Angaben zum Jahresabschluss des METAS per 31.12.2024. Die Jahresrechnung 2024 ist zusammen mit dem Bericht der Revisionsstelle auf www.metas.ch publiziert.

Herausgeber/Redaktion
Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS
Kundenbetreuung und Kommunikation
Lindenweg 50
3003 Bern-Wabern

kommunikation@metas.ch
www.metas.ch

Textredaktion
Peter Rohrer (METAS)
Sabine Graf (Casalini Werbeagentur AG)

Konzept und Realisation
Casalini Werbeagentur AG, Bern
www.casalini.ch

Sprachen
Deutsch, Französisch, Italienisch und Englisch

Bildnachweise
METAS, wenn nicht anders vermerkt

Copyright
Das Copyright liegt beim METAS.
Der Abdruck von Artikeln ist mit Quellenangabe gestattet. Bitte senden Sie ein Belegexemplar an die Redaktionsadresse.

Ausgabe
Mai 2025

FSC MIX Papier | Fördert gute Waldnutzung FSC® C003482 www.fsc.org

Druckprodukt mit finanziellem Klimabeitrag ClimatePartner.com/12986-2503-1019

Editorial

Meilensteine und Visionen: Das METAS im Jahr 2024

2024 war für das METAS ein Jahr voller bedeutender Ereignisse, Entwicklungen und Erfolge.

Ein wichtiger Meilenstein gleich zu Beginn des Jahres, war die Ernennung von Dr. René Lenggenhager zum neuen Institutsratspräsidenten ab dem 1. Januar 2024. Zusätzlich durfte das METAS zwei neue Mitglieder im Institutsrat willkommen heissen, deren frische Perspektiven und wertvolle Impulse unsere Arbeit bereichern (s. Seite 5, «Vorwort Institutsrat»).

Das METAS hat seine Nischen- und Exzellenzpolitik aktiv verfolgt und weiterentwickelt. Besonders erfreulich ist die verstärkte Zusammenarbeit mit Universitäten und die deutliche Erhöhung der Anzahl Doktorierender am METAS von einer auf fünf Personen (s. Doppelseite 8–9, «Das METAS in Zahlen»). Diese Kooperationen sind ein wesentlicher Bestandteil unserer Strategie, um die wissenschaftliche Exzellenz und die Innovationskraft unseres Instituts weiter zu stärken.

Das intensive Engagement bei Zukunftstechnologien belegt das METAS zudem auch bei Projekten wie «OnMicro» und «QUSPR», wo es um die Vermessung von elektrischen Feldern mittels Rydbergatomen geht (s. Doppelseite 16–17, «Grundlagen und neue Technologien»).

Weitere Institutskennzahlen (s. Doppelseite 8–9, «Das METAS in Zahlen»), welche sich im Berichtsjahr in erfreulicher Weise positiv entwickelt haben, sind bspw. unser gestiegener Selbstfinanzierungsgrad (+1,4 %), die deutliche Zunahme wissenschaftlicher Publikationen (+35), die erhöhte Anzahl Calibration and Measurement Capabilities (+25) und die Tatsache, dass das METAS signifikant mehr laufende Projekte im Haus hatte (+22).

Abschliessend möchte ich mich bei all unseren geschätzten Kunden für ihr Vertrauen und ihre langjährige Treue bedanken. Anlässlich der Feier des 150. Jahrestages der Unterzeichnung der Meterkonvention lädt das METAS seine Kunden am Tag der offenen METAS-Türen im Mai 2025 zu einem exklusiven Einblick in unsere Arbeit ein.

Zusätzlich gilt meine Anerkennung auch der weitsichtigen Leitung durch unseren Institutsrat sowie der unermüdlichen Einsatzbereitschaft unserer Belegschaft. Gemeinsam hat das METAS viel erreicht und es darf zuversichtlich in die Zukunft blicken!

Dr. Philippe Richard
Direktor Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS

3 Editorial
4 Grusswort Bundesrat
5 Vorwort Institutsrat
6 Highlights des Jahres
8 Das METAS in Zahlen
10 Forschung und Entwicklung
12 Energie und Mobilität
14 Gesundheit und Life Sciences
16 Grundlagen und neue Technologien
18 Industrie
20 Umwelt, Klima und natürliche Ressourcen
22 Engagement in nationalen und internationalen Organisationen
24 Soziale und ökologische Verantwortung
26 Im Auftrag des Bundes
28 Metrologie im Markt
30 Finanzen (Bilanz und Erfolgsrechnung)
32 Vorträge und Publikationen

Grusswort

Danke für das Vertrauen

Von meinem Büro im Bundeshaus West bis ins METAS in Wabern gibt mir Google Maps einen schönen Spaziergang über 3,8 Kilometer, unter anderem der Aare entlang, an. Aber sind es wirklich 3,8 Kilometer oder nicht doch 50 Meter mehr? So genau muss ich das nicht wissen. Diese Nonchalance im Alltag ist für Bürger befreiend. In vielen Situationen ist aber höchste Präzision gefragt.

Die Angestellten im METAS sind als Ingenieure, Physikerinnen, Chemiker und Spezialistinnen aller Art Architektinnen und Architekten des Vertrauens. Beim Wägen der Bananen im Grossverteiler, beim Tanken an der Tankstelle, oder beim Atmen der Luft. Wir vertrauen darauf, dass wir nicht hintergangen werden, weil das METAS Geräte eicht und Kontrollen durchführt.

Das METAS spielt im täglichen Leben eine zentrale Rolle und bleibt doch oft unsichtbar. Wenn es einmal schiefgeht, sind Schlagzeilen dagegen garantiert. Man denke etwa an die Geschwindigkeitsmessungen in der Stadt Bern, als unschuldige Bürgerinnen und Bürger versehentlich eine Busse erhielten. Zum Glück aber finden auch die jährlichen Kontrollschwerpunkte Eingang in die Medienberichterstattung. Etwa die Stichproben bei Onlineshops oder die Gewichtskontrollen bei verkauften Broten.

Ich bedanke mich bei Ihnen, liebe Mitarbeitende des METAS, für ihre wichtige Arbeit, die Sie 2024 für die Schweiz geleistet haben. Ich und alle Bewohnerinnen und Bewohner der Schweiz zählen auf Sie, dass Sie mit Ihrer unbestrittenen Expertise weiterhin Vertrauen schaffen.

Beat Jans
Vorsteher Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement

Vorwort

Innovation und Zusammenarbeit: Unser Weg in die Zukunft

Der Institutsrat (von links): Dr. Jonas Richiardi, Prof. Dr. Sonia Isabelle Seneviratne, Roger Siegenthaler, Prof. Dr. Alessandra Curioni-Fontecedro, Dr. René Lenggenhager (Präsident), Dr. Ursula Widmer (Vizepräsidentin), Dr. Corinne Jud.

Das Jahr 2024 war geprägt von tiefgreifenden Veränderungen in zentralen Technologiebereichen: künstliche Intelligenz, Quantentechnologien, Cybersicherheit, alternative Energieträger, digitale Metrologie und Umweltschutz sind nur einige der Schlüsselthemen, die unsere Arbeit beeinflussen. Das Eidgenössische Institut für Metrologie METAS steht vor der Herausforderung, zur Erfüllung seines Gesamtauftrages seine Tätigkeiten diesen neuen Trends anzupassen. Unsere Mitarbeitenden sind gefordert, sich in diesen Bereichen zu engagieren und ihre Expertise einzubringen, wo und soweit es sinnvoll und notwendig ist.

Trotz dieser dynamischen Entwicklungen konnte das METAS die Tradition der Exzellenz fortführen. Besonders erfreulich sind das aktive und kompetente Engagement sowie die wertvollen Impulse der beiden neuen Institutsratsmitglieder Dr. Corinne Jud und Dr. Jonas Richiardi. Unser Institutsrat ist divers und breit aufgestellt, was sich in der Vielzahl seiner Kompetenzen und Perspektiven widerspiegelt.

Meine Begeisterung für das METAS ist durch zahlreiche Laborbesuche und Gespräche mit den Mitarbeitenden noch weiter gewachsen. Diese Begegnungen, auch ausserhalb der Institutsratssitzungen, haben mir eindrucksvoll gezeigt, mit welcher Leidenschaft und Professionalität an unserem Institut gearbeitet wird.

Die Umsetzung unserer Strategie und die damit verbundene neue Struktur des METAS haben sich im vergangenen Jahr weiter gefestigt und wurden optimiert. Verschiedene Prozessverbesserungen konnten initiiert und teilweise bereits umgesetzt werden. Dennoch bleibt noch viel zu tun, um die Operational Excellence weiter zu vertiefen. Auch hier ist die Mitarbeit aller gefordert.

Ein weiterer Meilenstein war der Beginn der Arbeit an unserer neuen Strategie 2030. Mit viel Schaffenskraft und mit einem Workshop des gesamten Institutsrats und der Geschäftsleitung, sowie unterstützt durch eine «Spurgruppe», treibt das METAS diesen Prozess voran. Neue Entwicklungshilfsmittel unterstützen die Erarbeitung einer zukunftsweisenden Strategie, die schliesslich dem Institutsrat zur Genehmigung vorgelegt werden kann.

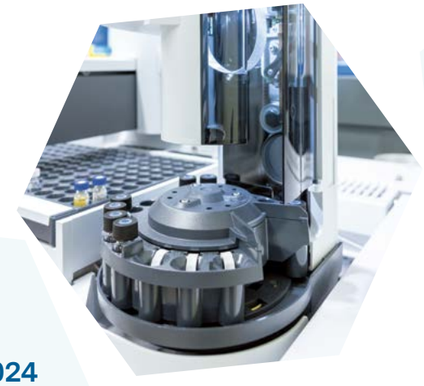
Ein besonderer Höhepunkt meines ersten Präsidialjahres war sicherlich im März 2024 der Besuch von Bundesrat Beat Jans, dem neuen Vorsteher des Eidgenössischen Justiz- und Polizeidepartements (EJPD). Mit Stolz konnte das METAS ihm unser bestes kleines nationales Metrologieinstitut präsentieren (s. auch Herrn Jans' Grusswort links).

Abschliessend möchte ich betonen, mit welcher Freude ich mich für das METAS engagiere. Ich bin stolz darauf, eine starke und engagierte Geschäftsleitung sowie einen kompetenten und tatkräftigen Institutsrat führen zu dürfen und bedanke mich hiermit auch bei allen Mitarbeitenden für ihren engagierten Beitrag im vergangenen und im laufenden Jahr.

Dr. René Lenggenhager
Institutsratspräsident

Highlights aus dem Jahr 2024

Im vergangenen Jahr konnten am METAS erneut einige Höhepunkte verzeichnet werden, welche nebst der wissenschaftlichen und messtechnischen Sicht auch weitere Aspekte beinhalteten. Ein Highlight der allgemeinen Art war sicherlich der Besuch von Bundesrat Beat Jans (EJPD) am METAS.



1. Januar 2024

Analyseverfahren für neuen Heizöl-Markierstoff
Der Bereich Chemische Prüfungen und Beratungen des METAS (CPB) hat im Auftrag des Bundesamtes für Zoll und Grenzsicherheit (BAZG) ein Analyseverfahren für einen neuen Markierstoff entwickelt und eingeführt. Der Markierstoff wird dem Heizöl zugesetzt, um es vom Dieseltreibstoff unterscheiden zu können. Die Schweiz hat gemeinsam mit der EU diesen neuen, sichereren Markierstoff eingeführt, da der bisherige zunehmend anfällig für Fälschungen geworden war.

25. März 2024

Besuch von BR Beat Jans (EJPD)
Anlässlich seines Besuchs am METAS hat der neue Vorsteher des EJPD, Bundesrat Beat Jans, eine Einführung in die vielfältigen Tätigkeiten des Instituts erhalten und danach verschiedene Labore besucht. Zum Schluss seiner Visite richtete der Departementsvorsteher ein Grusswort an alle Mitarbeitenden des METAS und konnte sich auch noch mit ein paar Anwesenden persönlich austauschen.

25. Mai 2024

Dr. Guglielmo Frigo erhält «Best Paper Award IEEE SGSMA 2024»
An der Smart-Grid-Synchronized-Measurements-and-Analytics-Konferenz (SGSMA) des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) in Washington D.C. (USA) wurde Dr. Guglielmo Frigo, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor Elektrische Energie und Leistung am METAS, der Best Paper Award 2024 verliehen. Dr. Frigo untersuchte die Frequenzmessungen zur Verbesserung der Belastbarkeit und Sicherheit von Stromsystemen im Rahmen des BFE-Projekts «QUINPORTION».

25. Juni 2024

Erster Nanopartikelmessgerätkurs
Im Sommer 2024 fand der erste Nanopartikelmessgerätkurs am METAS statt. Die Teilnehmenden erhalten darin einen Überblick über die gesetzlichen Aspekte der Dieselpartikelfilterprüfung (DPF), erlangen Basiskenntnisse in den Bereichen Metrologie und Aerosole und lernen die Herausforderungen in der Praxis kennen. Der Kurs richtet sich primär an Fahrzeugexpertinnen und -experten der Strassenverkehrsämter und an Garagisten und Garagistinnen.

Nanopartikelmessgerätkurs auf metas.ch

13. November 2024

Strategische Ziele 2025 bis 2028
Der Bundesrat hat am 13. November 2024 die strategischen Ziele des METAS für die Jahre 2025 bis 2028 gutgeheissen. Demnach soll das METAS primär weiterhin seine Aufgaben als nationales Metrologieinstitut der Schweiz wahrnehmen. In Zukunft soll es metrologische Dienstleistungen möglichst digitalisieren bzw. deren Entwicklung für die Digitalisierung vorantreiben und die Qualitätsinfrastruktur der Schweiz koordinieren.

29. November 2024

Dr. Cédric Blaser erhält «IEC 1906 Award»
An der Vorstandssitzung des Comité Électrotechnique Suisse (CES) wurde der IEC 1906 Award an Dr. Cédric Blaser, Laborleiter Elektrische Energie und Leistung am METAS, überreicht. Dr. Blaser wurde für seinen Einsatz für die Normung von Elektrizitätszählern und seine Beteiligung an der Erstellung und Überarbeitung von mehr als zehn Normen auf europäischer und internationaler Ebene geehrt.

31. Dezember 2024

Gasüberwachung in industriellen Produktionsumgebungen
Das Labor für Gasanalytik führte mithilfe eines speziell für Mettler Toledo neu entwickelten Messplatzes rund dreissig Kalibrierungen von Diodenlaser-Spektrometern zur in-situ-Gasüberwachung in industriellen Produktionsumgebungen durch. Die Flexibilität dieses Messplatzes ermöglichte es zudem, massgeschneiderte F+E-Aufträge für unseren Kunden zu realisieren.

Das METAS in Zahlen

Stand 31.12.2024

Vollzug des Messgesetzes

Das METAS sorgt für die Einhaltung des Metrologierechts in der Schweiz.

Prüfungen durch das METAS

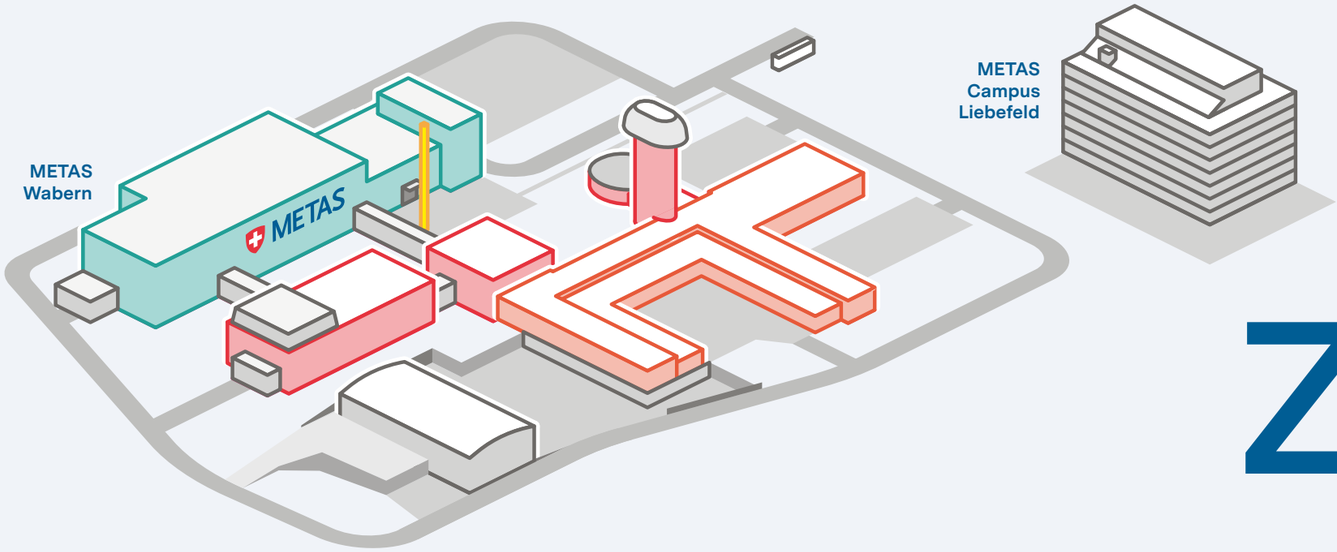
- **47 445** Messwandler (Ersteichungen)
- **3 351** Atemalkoholmessmittel
- **2 573** Strassenverkehrs-messmittel (Rotlicht und Geschwindigkeit)
- **1 947** Audiometriemessmittel
- **763** Messmittel für Nano-partikel bei Verbrennungs-motoren
- **550** Schallmessmittel
- **248** Feuerungsabgasmess-mittel (Ersteichungen)
- **210** Messmittel für ionisierende Strahlung

Prüfungen durch ermächtigte Eichstellen

- **741 735** Elektrizitätszähler (statistisches Prüfverfahren)
- **7 299** Messmittel für thermische Energie
- **3 394** Feuerungsabgas-messmittel
- **2 232** Messmittel für ionisierende Strahlungen
- **484** Strassenverkehrs-messmittel (LSVA-Prüfsysteme)
- **429** Gasmengenmessmittel

Prüfungen durch die Kantone

- **97 %** Vollzugsquote durch-geführte Eichungen bei Messmitteln
- **88 %** Vollzugsquote geprüfte Fertigpackungen gleicher Nennfüllmenge, industrielle Hersteller
- **86 %** Vollzugsquote geprüfte Fertigpackungen ungleicher Nennfüllmenge, industrielle Hersteller



CMCs

419 im Rahmen des CIPM-MRA anerkannte Mess-und Kalibriermöglichkeiten

Zertifikate durch das METAS

17 482 (davon: 446 durch METAS-Cert)

Organisation

15 metrologische Labore

- **5 im Bereich Metrologie in der Physik I:** Gleichstrom und Niederfrequenz | Elektrische Energie und Leistung | Hochfrequenz | Elektromagnetische Verträglichkeit | Photonik, Zeit und Frequenz
- **5 im Bereich Metrologie in der Physik II:** Länge, Nano- und Mikrotechnik | Optik | Masse, Kraft, Druck und Vibration | Durchfluss | Ionisierende Strahlung
- **5 im Bereich Metrologie in der Chemie und Biologie:** Gasanalytik | Partikel und Aerosole | Anorganische Analytik und Referenzen | Organische Analytik und Referenzen | Biologische Analytik und Referenzen

3 technische Bereiche

Eichungen und Prüfungen:
Strassenverkehr | Akustik und Vibration | Audiometrie

Chemische Prüfungen und Beratungen:
Analytik | Prüfung und Beratung

Messnetze:
Qualität und Unterhalt | Intervention und Installation | Software

Forschung und Entwicklung

88 wissenschaftliche Publikationen

60 Vorträge **14** Seminare

5 Fachkolloquien

28 591 in Forschung investierte Stunden

2 neu angemeldete Patente
1 Patent wurde nicht mehr weitergeführt.

7 Total angemeldete Patente im Portfolio

6 Erfindungsmeldungen

Projekte

Grossprojekte (GP) und Kleinprojekte (KP)

65 laufende (47 GP + 18 KP)

25 neu gestartete (20 GP + 5 KP)

21 beendete (10 GP + 11 KP)

47 finanzierte grosse Forschungsprojekte
(21 EPM, 6 EMPIR, 5 METAS, 5 Ressortforschung Bund, 3 Horizon Europe, 3 Innosuisse, 2 Schweizer Nationalfonds, 2 Auftragsforschung)

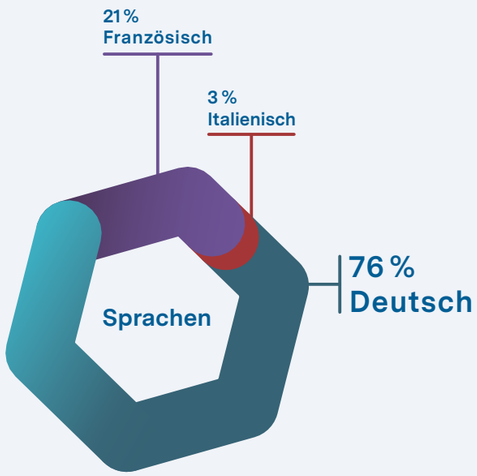
Finanzen

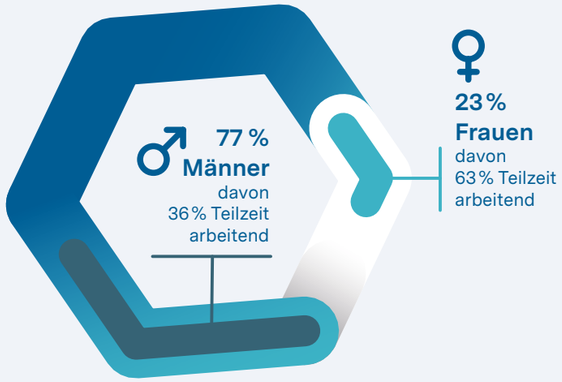
61 Mio.
Ertrag (Fr.)

921 000
Gewinn (Fr.)

58 %
Selbstfinanzierungsgrad

Mitarbeitende





Auszubildende

- Physiklaborant/-in
- Chemielaborant/-in
- Elektroniker/-in
- Informatiker/-in
- IT-Fachmann/-frau
- Mediamatiker/-in
- BM-Praktika zur KV-Ausbildung

19 Lernende und BM-Praktikanten/-innen

5 Doktoranden/-innen

9 Hochschul-praktikanten/-innen

Forschung und Entwicklung

Forschung durch Zusammenarbeit

Forschung ist essenziell für die Weiterentwicklung der metrologischen Infrastruktur der Schweiz. Dank erfolgreicher Zusammenarbeiten und der Akquirierung von Drittmitteln konnten neue Themen wie die Quantentechnologie vorangetrieben werden. Zudem engagierte sich das METAS in der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und verstärkte seine Massnahmen zur Förderung der wissenschaftlichen Integrität.

Forschung als Auftrag

Das METAS steht an der Spitze der metrologischen Pyramide, d.h., es stellt international anerkannte Masseinheiten mit der für die Industrie, Forschung und Verwaltung erforderlichen Genauigkeit zur Verfügung. Da generell die Anforderungen, an die Genauigkeit steigen – speziell auch seitens der Kunden – muss das METAS sicherstellen, dass seine Referenznormale stets genauer sind als diejenigen der Kunden. Art. 3, Abs. 2, Bst. d. des Bundesgesetzes über das Eidgenössische Institut für Metrologie (EIMG, SR 941.27) schreibt denn auch die Durchführung der «nötigen wissenschaftlich-technischen Untersuchungen und Entwicklungsarbeiten» vor. Demgemäss soll das METAS «namentlich die Auswirkungen neuer Techniken» erforschen und «praktisch anwendbare Messmethoden» entwickeln, «die dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse entsprechen».

Das METAS finanziert interne Forschungsprojekte und strebt zusätzlich durch Drittmittel finanzierte Forschung an, insbesondere durch das Europäische Metrologie-Partnerschaftsprogramm (EPM). Weitere Finanzierungsquellen sind der Schweizer Nationalfonds, Innosuisse, Ressortforschung des Bundes und Auftragsforschung der Industrie.

EPM-Projekte tragen nicht nur zur Finanzierung der METAS-Projekte bei, sondern fördern auch die Zusammenarbeit von Experten aus verschiedenen europäischen Metrologieinstituten. Die Ausschreibung für EPM-Projekte erfolgt zweistufig: Im Januar und Februar können Forschungsthemen eingereicht werden, von denen mehr als die Hälfte ausgewählt wird. Anschliessend werden Forschungskonsortien gebildet, die ihre Anträge bis Ende September einreichen. Unabhängige Gutachter entscheiden im November über die Finanzierung, wobei die Erfolgsquote im Vergleich zu anderen Programmen vergleichsweise hoch ist (typischerweise 50 %). Die Projekte dauern in der Regel drei Jahre.

Da die Schweiz noch nicht an Horizon Europe assoziiert ist, erfolgt die Finanzierung über das Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI). Im «Call 2023» war das METAS sehr erfolgreich: Elf Projektanträge wurden bewilligt, davon vier im Bereich der Quantentechnologie. Diese Projekte starteten im Juni 2024 und werden die Kompetenz des METAS in diesem Bereich weiter ausbauen. Neben den EPM-Projekten konnten im Jahr 2024 auch zwei neue Horizon-Europe-Projekte, zwei Innosuisse-Projekte und drei Ressortforschungsprojekte gestartet werden. Somit werden sämtliche der fünf Themenfelder mit neuen Projekten bespielt.

Bundesgesetz über das Eidgenössische Institut für Metrologie (EIMG, SR 941.27)

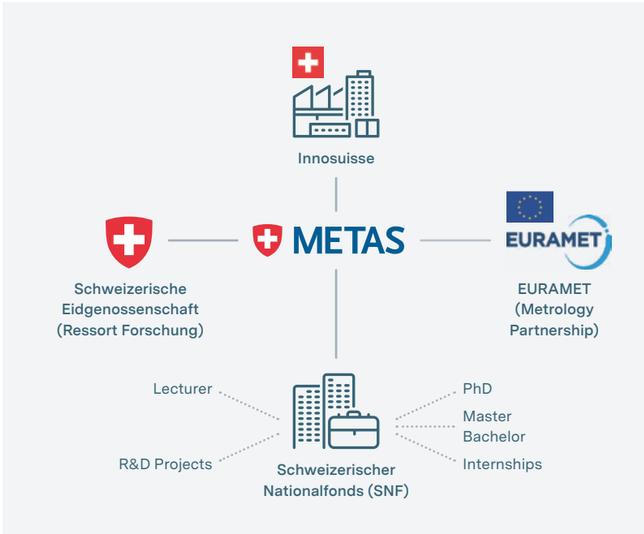
Zusammenarbeit mit Universitäten

In den meisten seiner Forschungsprojekte arbeitet das METAS mit nationalen oder internationalen Hochschulen zusammen, sind doch in der Forschung Zusammenarbeit und Austausch zwischen den führenden Experten der Schlüssel zum Erfolg.

Die fünf Forschungs- und Entwicklungsthemen am METAS

Neben diesen allermeistens durch Drittmittel finanzierten Forschungsprojekten mit Universitäten können in den Laboren des METAS auch Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten durchgeführt werden. So waren 2024 fünf Doktorierende für das METAS tätig. Diese Doktorarbeiten werden durch Professoren der Hochschulen sowie zusätzlich durch eine METAS-Wissenschaftlerin bzw. einen METAS-Wissenschaftler vor Ort betreut. Zwei Doktorierende waren dabei an der EPFL in Lausanne, zwei an der Universität Bern und ein weiterer an der Universität Basel eingeschrieben.

In einigen Fällen üben METAS-Expertinnen und -Experten auch eine Lektortätigkeit an Hochschulen aus. So gaben METAS-Experten im Jahr 2024 Vorlesungen an den Universitäten Basel und Bern, an der ETH Zürich sowie an der Westschweizer Fachhochschule HES-SO.



Formen der nationalen und internationalen Forschungszusammenarbeit

Diese für beide Seiten stimulierende Zusammenarbeit zwischen Schweizer Hochschulen und dem METAS soll in den kommenden Jahren noch weiter ausgebaut werden. Auf diese Weise wird das METAS noch stärker in die Schweizer Hochschullandschaft eingebunden und kann seinen Beitrag zur wissenschaftlichen Exzellenz des Forschungsplatzes Schweiz leisten.

Wissenschaftliche Integrität

Für eine Institution wie das METAS, die mit ihrer metrologischen Tätigkeit Vertrauen schafft und verlässliche Referenzen entwickelt, ist integres Verhalten in allen Tätigkeitsbereichen unabdingbar. Dies gilt ganz besonders auch für die Forschung.

Doch was sind mögliche Verstösse gegen die wissenschaftliche Integrität? Die bekanntesten darunter sind die Fälschung von Daten, fehlende Berücksichtigung von Co-Autoren, Fehlverhalten bei Expertisen, mangelnde Betreuung wissenschaftlicher Mitarbeitender oder gar Plagiate.

Die vier Grundprinzipien von Verlässlichkeit, Redlichkeit, Respekt und Verantwortung, auf welche die wissenschaftliche Integrität baut, sind bereits fest in der METAS-Kultur verankert. Daher sind aktuell glücklicherweise keine solchen Verstösse bekannt. Nichtsdestotrotz hat das METAS seine wissenschaftlichen Mitarbeitenden, aufbauend auf dem Kodex zur wissenschaftlichen Integrität der Schweizerischen Akademien der Wissenschaften, für dieses Thema sensibilisiert und eine Anlaufstelle zu diesen Fragen geschaffen.

Akademien der Wissenschaften Schweiz: Wissenschaftliche Integrität.

Energie und Mobilität

Metrologie für eine sicherere Integration erneuerbarer Energien

Erneuerbare Energiequellen erzeugen in der Regel Gleichstrom. Zu ihrer Messung und Steuerung bedarf es einer neuen Reihe von Messanwendungen.

Gleichstrom-Leistungs- und -Energiereferenzsystem im METAS-Labor.

Die Steuerung und die Speicherung von erneuerbaren Energiequellen hängen heute noch von Messanwendungen ab, die weder standardisiert noch gut etabliert sind. Das METAS arbeitet daran, diese Energiewende zu unterstützen, indem es eine vollständige metrologische Rückführbarkeit für diese Vorgänge entwickelt: Im Projekt «DC Grids» in Bezug auf die Umsatzmessung und Stromqualität und im Projekt «DigiCell» in Bezug auf den Gesundheitszustand der Batterien.

Gleichstrom-Umsatz- und Stromqualitätsmessung in modernen Stromversorgungssystemen

Gleichstrom-Mikronetze im Mittel- und Niederspannungsbereich gewinnen zunehmend an Bedeutung für die effiziente Integration erneuerbarer Energiequellen – insbesondere in Szenarien, in denen Erzeugungs- und Verbrauchsprofile mit ausreichender Genauigkeit geplant werden können (z.B. Parkplätze, Flughäfen, Einkaufszentren). Allerdings bleiben Störungen, die durch leistungselektronische Wandler oder die Anbindung an das Wechselstromnetz verursacht werden, eine Herausforderung. Die bestehende Messtechnik ist primär für traditionelle Gleichstromnetze ausgelegt, in denen das Leistungssignal weitgehend konstant ist.

Im neuen Szenario unterliegen die Gleichstrompegel jedoch Schwankungen, abhängig von der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien, und ausserdem können unerwünschte Signalanteile auftreten. Das EPM-Projekt «DC Grids» (EPM: European Partnership on Metrology) hat sich mit der Problematik der Einnahmemessung und der Netzqualitätsüberwachung in Gleichstrom-Mikronetzen befasst. Das METAS leitete ein Arbeitspaket und koordinierte die Entwicklung von Referenzsystemen, die Gleichstromsignale unter nominalen und verzerrten Bedingungen nachbilden können. Diese Referenzsysteme dienen der Bewertung verschiedener Klassen von Messgeräten, sowohl für die Abrechnungsmessung als auch für die Netzqualitätsanalyse. Dies stellt einen ersten Schritt zur präzisen Definition von Leistungsanforderungen und Kompatibilitätsgrenzen in Gleichstrom-Mikronetzen dar. Beide Aspekte sind essenziell, um einen stabilen und sicheren Betrieb des Stromnetzes zu gewährleisten.

Unsicherheit in Batteriemessungen und KI

Der State of Health (SOH) von Lithium-Ionen-Batterien ist ein Indikator für deren Kapazität unter Nominalbedingungen. Die Kapazitätsmessung durch Laden und Entladen ist zeit- und energieaufwendig. Die elektrochemische Impedanzanalyse (EIS), welche die Reaktion einer Batterie auf elektrische Signale misst, ist in Verbindung mit Algorithmen des Machine Learning (ML, s. Box) eine schnelle energiesparende Methode, um den SOH zu messen.

Dr. Guglielmo Frigo an der Abschlusspräsentation in Delft (NL) am 16. Mai 2024.

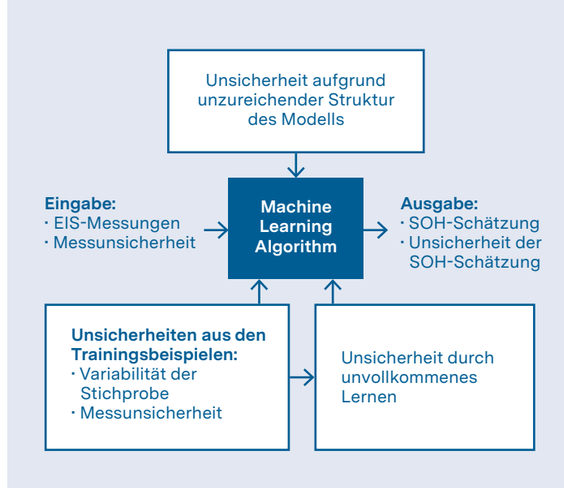
Im Projekt «DigiCell» entwickelt das METAS eine Methode zur Quantifizierung der Unsicherheit von Vorhersagen aus ML-Modellen, die auf die SOH-Schätzung angewendet wird.

ML-Algorithmen sind zwar leistungsstark, aber anfällig für Unsicherheiten, die von den Daten (Messunsicherheiten, Variabilität) und den Modellen selbst herrühren. Werden diese Unsicherheiten ignoriert, können sie die Zuverlässigkeit des Resultats beeinträchtigen, was wiederum wirtschaftliche und ökologische Auswirkungen hätte. Mithilfe dieser Methodik will das METAS die Zuverlässigkeit der ML-Modelle verbessern und damit zur Optimierung der Herstellungsprozesse sowie zur vorausschauenden Wartung von Batterien beitragen.

Obwohl der Schwerpunkt dieses Projekts auf Lithium-Ionen-Batterien liegt, gibt es weitaus breitere Anwendungsmöglichkeiten der Technik: Die entwickelte Methodik lässt sich auf einen Grossteil der Probleme in der Metrologie anwenden, bei denen ML-Modelle zum Einsatz kommen und bietet so Lösungen, die auf die Bedürfnisse der Industrie zugeschnitten sind.

Was ist Machine Learning?

Machine Learning (ML) ist eine Technik der künstlichen Intelligenz, die es Computern ermöglicht, Probleme zu lösen, indem sie Daten analysieren, ohne explizit dafür programmiert worden zu sein. Durch die Nutzung von (in der Regel sehr vielen) Beispielen erkennt das System Muster und trifft Vorhersagen. Es kann beispielsweise den Gesundheitszustand einer Batterie (SOH) basierend auf komplexen Messungen vorhersagen. Dies ist eine Schlüsseltechnologie zur Optimierung industrieller Prozesse.

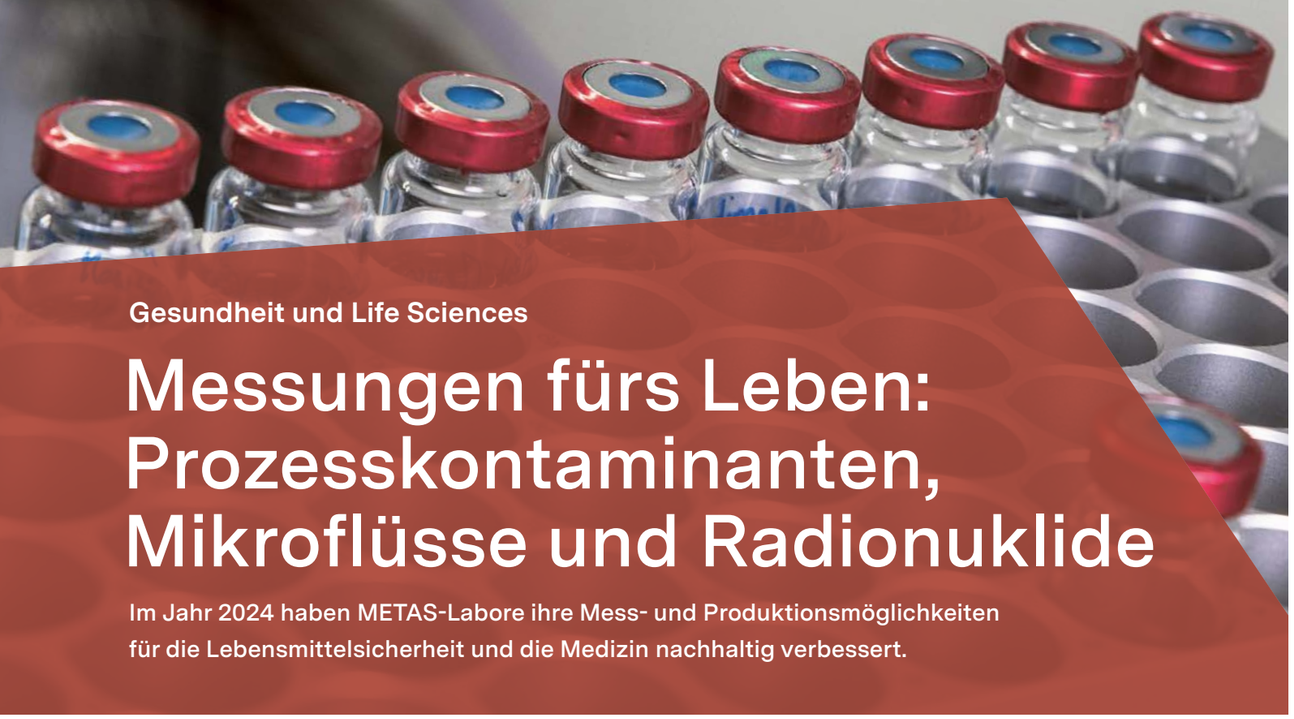


Übersicht über Quellen von Unsicherheiten bei der Verwendung von ML-Algorithmen, angewendet auf die Charakterisierung von Batterien.

Gemeinsame Initiative zur britisch-schweizerischen Zusammenarbeit in der Metrologie

Im Jahr 2024 intensivierte das METAS die Zusammenarbeit mit dem britischen National Physical Laboratory (NPL), um Wissen auszutauschen und Finanzierungsoptionen aus dem neuen Memorandum of Understanding (MoU) zwischen der Schweiz und dem Vereinigten Königreich zu nutzen. In diesem Rahmen wurde das METAS von einer NPL-Delegation besucht, begleitet von Martina Novakova, Leiterin Wissenschaft und Innovation an der Britischen Botschaft in Bern.

Britische Delegation am METAS (v. l.): Dr. Deborah Ritzmann (NPL), Dr. Peter Davis (NPL), Martina Novakova (Science & Innovation Officer Britische Botschaft Bern), Dr. Guglielmo Frigo (METAS), Dr. Marc-Olivier André (METAS)



Gesundheit und Life Sciences

Messungen fürs Leben: Prozesskontaminanten, Mikroflüsse und Radionuklide

Im Jahr 2024 haben METAS-Labore ihre Mess- und Produktionsmöglichkeiten für die Lebensmittelsicherheit und die Medizin nachhaltig verbessert.

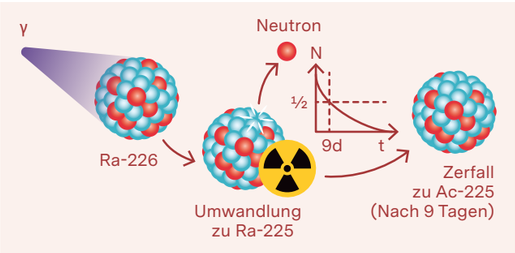
Die Gesundheits- und Lebenswissenschaften wurden am METAS in den vergangenen Jahren deutlich weiterentwickelt. Das METAS vertiefte dabei die Messungen von Prozesskontaminanten bei Lebensmitteln, die metrologisch genaue Beschreibung kleinster Flüsse und die Herstellung von therapeutischen Radionukliden zur Tumorbehandlung. In diesen drei hochrelevanten Bereichen trägt das METAS direkt zur Verbesserung der Lebensqualität in der Schweiz bei.

Photonukleare Reaktionen für die Theragnostik

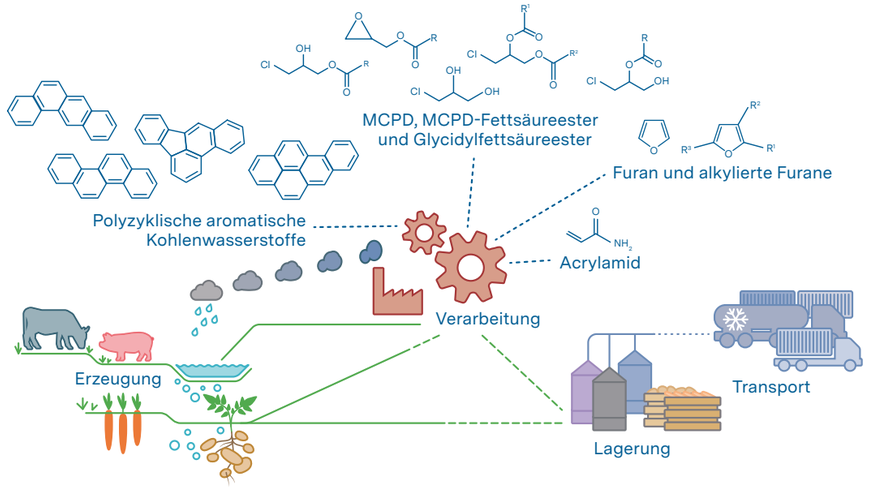
Ein innovativer Ansatz in der Krebsmedizin kombiniert radioaktive Elemente mit selektiven Molekülen, um Tumorgewebe präzise zu markieren oder zu zerstören (Therapie und Diagnostik). Eingesetzt werden Elemente wie Actinium-225, das jedoch weltweit sehr begrenzt verfügbar ist. Um diesen Engpass zu überwinden, entwickelte das METAS in Zusammenarbeit mit der Universität Bern effiziente Produktionsprozesse. Actinium-225 wurde durch die photonukleare Route synthetisch hergestellt, indem Radium-226 mit hochenergetischer Röntgenstrahlung bestrahlt wurde. Diese Methode ist einfach zu handhaben und nutzt Elektronenbeschleuniger, wie das METAS einen betreibt, zur Erzeugung der notwendigen Röntgenstrahlung.

Das METAS untersuchte diese Produktionsroute und entwickelte sie, indem es über sechzig Proben mit verschiedenen Ausgangsmaterialien bestrahlte. Um die Produktionsrate zu steigern, wurde der Beschleuniger erweitert und eine neue Methode zur präzisen Messung der Produktionsraten etabliert. Für den industriellen Einsatz muss die Leistung des Elektronenbeschleunigers noch deutlich erhöht werden, was technische Herausforderungen bei der Erzeugung der Röntgenstrahlung mit sich bringt.

Ein innovatives Konzept zur Bewältigung der thermischen Belastung wurde basierend auf einem Pumpenprinzip von Nikola Tesla entwickelt. Ein Prototyp wurde erfolgreich getestet und zum Patent angemeldet. Erste Schritte zur Erprobung an leistungsstärkeren Beschleunigern wurden unternommen.



Hat Röntgenstrahlung genügend Energie, wird Radium-226 in Radium-225 umgewandelt, welches dann zum gewünschten Actinium-225 zerfällt.



Bestimmung von Prozesskontaminanten in Lebensmitteln

Prozesskontaminanten sind unerwünschte Stoffe, die sich bei der Verarbeitung von Lebensmitteln unter anderem beim Erhitzen auf hohe Temperaturen, Raffinieren, Gären, Räuchern oder Trocknen bilden und negative Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen haben können. Die Kontrolle gesetzlich festgelegter Höchstwerte dieser Stoffe in Lebensmitteln muss in der Schweiz und in der EU mit vergleichbaren Analysen erfolgen.

Dies stellt das Netzwerk, bestehend aus dem europäischen Referenzlabor für Prozesskontaminanten (EURL-PC) und den nationalen Referenzlaboren (NRL-PC), sicher. Als NRL-PC der Schweiz funktioniert das Labor Organische Analytik und Referenzen am METAS so als Schaltstelle zwischen den amtlichen Laboren und dem EURL-PC.

Neben den bisherigen Methoden für die Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), freien und mit verschiedenen Fettsäuren veresterten Monochlorpropandiolen (MCPD) und Glycidylfettsäureestern (GE) in Lebensmitteln wurde das Methodenportfolio am METAS um die Bestimmung von Acrylamid sowie Furan und alkylierten Furanen in Lebensmitteln erweitert. Die Vergleichbarkeit der mit diesen Methoden erhaltenen Analyseresultate wurde in mehreren vom EURL-PC organisierten Eignungsprüfungen erfolgreich belegt.

Nationales Referenzlabor für Prozesskontaminanten

Kalibrierung von Flüssigkeitsmikroströmung in herausragender Qualität

Das METAS verfügt über Anlagen mit Kolbensystemen (Abb. 1) und gravimetrischer Durchflussmessung (Abb. 2) für Messungen mit Prozessflüssigkeiten und nichtkonstanten Fliessprofilen. Diese Charakterisierungsmessungen sind typisch für Anwendungen in der Dosierung von Prozessflüssigkeiten, die in der pharmazeutischen Industrie, in der Fluidchemie und in mikrofluidischen Anwendungen eingesetzt werden.

METAS ist das weltweit führende Nationale Metrologieinstitut in Bezug auf Erfahrung und Präzision bei der rückführbaren Kalibrierung von Mikro-Durchflüssen bis hinunter zu 20 nL/min. Jegliche Einflüsse von Umgebungsbedingen und Flüssigkeitseigenschaften wurden quantifiziert und in der detaillierten Berechnung der Messunsicherheit der entsprechenden Mikrodurchflüsse berücksichtigt. Aus diesem Grund hat das METAS als Pilotlabor den ersten internationalen Messvergleich von sechs Metrologieinstituten mit diesen kleinen Flüssigkeitsdurchflüssen organisiert. Dieser ist beim Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) als CCM.FF-K1.2022 registriert. Die angegebenen Messunsicherheiten im Durchflussbereich von 10,0 µL/min bis 0,1 µL/min konnten erfolgreich validiert werden und bestätigen die hervorragenden Messmöglichkeiten dieser Anlagen.

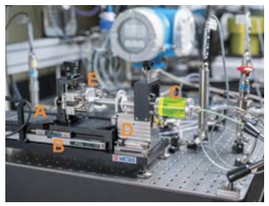


Abb. 1: METAS-Kolbensystem der Microflow-Anlage: (A) Hochpräzisions-Lineartisch, (B) Linearmesssystem, (C) Kolben, (D)+(E) Montage und Positionierung Kolben

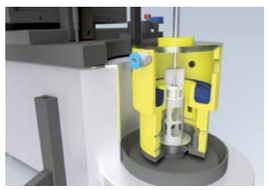


Abb. 2: Gravimetrische Durchflussmessung mit Blick auf den Wägebereich der Waage mit Auslassnadel und Becher.

Grundlagen und neue Technologien

Optische Techniken für Feldmessungen und Zeitübertragung

Lasertechnik ermöglicht elektrische Feldmessungen und Zeitübertragung durch das White-Rabbit-Protokoll.

Das METAS verwendet laserspektroskopische Techniken, um einzelne Atome, sogenannte Rydbergatome, zur elektrischen Feldstärkenmessung zu benutzen. Ausserdem wird mittels Lasern und Glasfasern das White-Rabbit-Protokoll übertragen, was die hochgenaue Zeitdissemination (Zeitübertragung) durch das METAS erlaubt.

Quantensensing mit Rydbergatomen

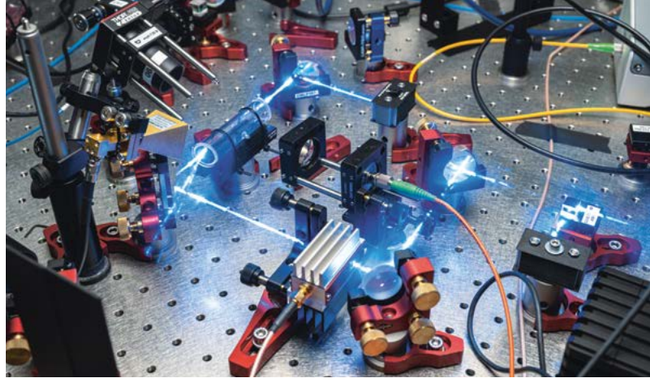
Elektrische Felder sind aus dem METAS-Alltag nicht wegzudenken. Sie werden benutzt, um bspw. Informationen in Computern zu verarbeiten oder mit dem Mobiltelefon zu übertragen. Um diese Felder zu messen, werden bis jetzt hauptsächlich Metallkontakte oder Antennen verwendet. Dies hat den Nachteil, dass die Felder durch die Messung verfälscht werden und dadurch höhere Messunsicherheiten entstehen.

Das METAS arbeitet daran, elektrische Felder mittels Rydbergatomen (s. Kasten) zu vermessen, da diese das Feld viel weniger verfälschen. Das Projekt «OnMicro» zielt darauf ab, Rydbergatome für die Messung von elektrischen Feldern auf Wafern zu benutzen, was bei der Fertigung von integrierten Schaltungen von Nutzen ist. Dazu soll der Stand der Technik im Bereich Rydbergatome mittels einer speziell für diese Messung gestalteten Messzelle und einer verbesserten Auslesetechnik verbessert werden. Dieses Ziel wird in Kooperation mit der Universität Basel verfolgt.

Um auf diese Technologie im METAS direkten Zugriff zu haben und Weiterentwicklungen sowie neue Anwendungen selbst steuern zu können, wurde ein zweites Projekt «QUSPR» (QUantum Sensing on Planar Rf circuits) ins Leben gerufen. Hierbei geht es um den Aufbau eines Labors für Rydbergatome, welches die erfolgreichen Vorarbeiten der Uni Basel im Projekt «OnMicro» kopiert, jedoch Cäsiumatome anstelle von Rubidium verwendet. Der Vorteil von Cäsium ist die natürliche Isotopenreinheit, welche präzisere Messungen als mit Rubidium ermöglicht.

Alkalidampfzelle (blaues Röhrchen, Mitte) für Atome in Rydbergzuständen. Unten im Bild befindet sich die goldfarbene Hornantenne für die elektrischen Felder.

Fluoreszenz des roten Lasers im Rubidiumdampf, aufgenommen mit einer Infrarotkamera.



Messaufbau mit sichtbar gemachten blauen und roten Laserstrahlen (roter Laser ist kaum erkennbar).

Rydbergatome

Als Rydbergatome werden Atome bezeichnet, welche nahezu ionisiert sind. Das bedeutet, dass das äusserste Elektron weit (bis zu 500 nm) vom Atomkern entfernt ist, wodurch externe elektrische Felder einen starken Einfluss auf das Atom haben. Dieser führt zu einer Aufspaltung von Spektrallinien proportional zur Feldstärke, womit sich die Feldstärke des Rydbergatoms in eine Frequenz übersetzen lässt. Aus metrologischer Sicht ist dies sehr erwünscht, da Frequenzen mit höchster Genauigkeit gemessen werden können.

TDIS – Verbreitung hochgenauer Zeitskalen

Angesichts der aktuellen Sicherheitsherausforderungen hat sich White Rabbit (WR, s. Kasten) als vielversprechende Technologie für die hochpräzise Verbreitung von Zeitskalen über Glasfasern erwiesen. Diese Methode bietet eine robuste Alternative zu den derzeit genutzten Satellitentechnologien und ermöglicht es Unternehmen und strategisch wichtigen Institutionen, die optimale Zuverlässigkeit ihrer Systeme sicherzustellen.

Das Projekt «TDIS» (Time DISsemination) ist eine Kooperation zwischen dem METAS, der Stiftung SWITCH, die das nationale Schweizer Forschungs- und Bildungsnetz (National Research and Education Network, NREN) betreibt, Armasuisse und der für die Infrastruktur der Schweizer Börse verantwortlichen Firma SIX Group.

Das Hauptziel bestand darin, ein Prototyp-Netzwerk zu entwickeln, um die Leistungsfähigkeit der WR-Technologie als Lösung für hochpräzise und über grosse Entfernungen hinweg zuverlässige Zeitverteilungsdienste in der Schweiz zu bewerten.

Dieses Prototyp-Netzwerk verbindet die Städte Bern, Basel, Zürich, Olten und Neuenburg mittels einer etwa 500 Kilometer langen Schleife. Es konnte die Verbreitung der offiziellen Schweizer Zeitskala (UTC[CH]) mit einer Genauigkeit von besser als einer Nanosekunde demonstrieren und damit bestätigen, dass WR als glaubwürdige Alternative zu den derzeitigen Zeitverbreitungstechniken genutzt werden kann. Zudem arbeitet dieses Netzwerk im «L-Band» (Wellenlänge: 1565–1625 nm) und steht daher nicht in Konkurrenz zum klassischen Datenverkehr im «C-Band» (Wellenlänge: 1530–1565 nm). Dadurch bleibt WR mit bestehenden Glasfaser-Telekommunikationsnetzen in der Schweiz kompatibel.

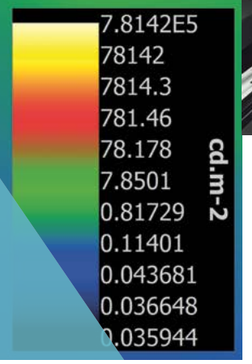
Funktionsweise von WR

White Rabbit (WR) ermöglicht die hochpräzise Übertragung von Zeitinformationen über Glasfasern mit einer Genauigkeit von bis zu wenigen Dutzend Pikosekunden (10^{-12} s). Eine WR-Verbindung zwischen zwei Punkten besteht aus zwei gegenläufigen Signalen (Rx für Empfangen und Tx für Senden). Durch den Ausgleich der Laufzeitdifferenz dieser Signale kann WR dieses Präzisionsniveau erreichen. Die Technologie kompensiert zudem störende Effekte wie Längenänderungen der Glasfaser durch Temperaturschwankungen, wodurch eine noch höhere Stabilität gewährleistet wird.

Industrie

Charakterisierung von Referenzstandards

Zur rückführbaren Messung von Referenzstandards werden mehrere unterschiedliche Verfahren eingesetzt.



Ein HDR-Leuchtdichtebild der HiDyni-Quelle, aufgenommen von einem bildgebenden System (Kamera).

Referenzstandards werden einerseits aufgebaut, um Messsysteme zu charakterisieren; so geschehen im Projekt «HiDyn». Andererseits werden Referenzstandards auch mit einem integralen Detektor (bei den Glanzstandards) oder mit einem Rasterwellenmikroskop (im Projekt «ELENA») charakterisiert.

Bewertung von Blendung und störendem Licht mit bildgebenden Systemen

Das Projekt «HiDyn» zielt darauf ab, Bildgebungssysteme mit hohem Dynamikbereich (High Dynamic Range, HDR) für die Messung der Leuchtdichteverteilung zu standardisieren, die für die Beurteilung von Blendung und störendem Licht entscheidend ist. Diese Messungen sind für die Bewertung von LED- oder laserbasierten Autoscheinwerfern und Innen-/Aussenbeleuchtung unerlässlich.

Die Projektziele sind die Entwicklung von Leuchtdichte-Referenzstandards mit hohem dynamischem Kontrast, die Validierung von HDR-Leuchtdichtemessungen, die Entwicklung eines harmonisierten HDR-Algorithmus und die Erstellung von Richtlinien für die Messunsicherheitsabschätzung. Dies wird die Gesetzgebung zu Blendung und störendem Licht unterstützen, die Sicherheit und den Komfort in Beleuchtungsumgebungen verbessern sowie die Ergonomie am Arbeitsplatz und die Sicherheit im Strassenverkehr erhöhen.

Im Projekt werden auch Werkzeuge und Richtlinien für rückverfolgbare HDR-Messungen erarbeitet. Das «HiDyn»-Projekt will die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit von HDR-Messungen sicherstellen und trägt zur Minderung der mit Blendung und störendem Licht verbundenen Risiken bei. Damit wird ein Beitrag zur öffentlichen Sicherheit, zum Umweltschutz und zur Verbesserung des visuellen Komforts bei Tageslicht und Nachtbeleuchtungen geleistet.

Das METAS hat die Lichtquelle HiDyni mit einem Dynamikbereich von sechs Dekaden aufgebaut und mit HDR-Bildgebungssystemen gemäss der definierten Richtlinien charakterisiert und validiert.

Website des Projekts «EPM 21NRM01 HiDyn».

Elektrische Messungen mit hoher räumlicher Auflösung

Unterhaltungselektronik, innovative Quantentechnologien und Anwendungen für das Internet der Dinge basieren alle auf Halbleitern, bei denen eine zuverlässige Charakterisierung der elektrischen Eigenschaften im Nano- und Mikromassstab für die europäische Innovation und Wettbewerbsfähigkeit unerlässlich sind. Die Messung dieser Eigenschaften ermöglicht die Bewertung kritischer Parameter, die zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit elektronischer Materialien und Komponenten verwendet werden.

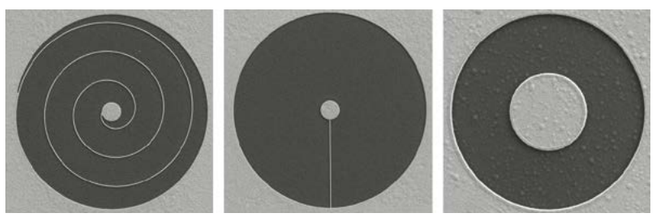
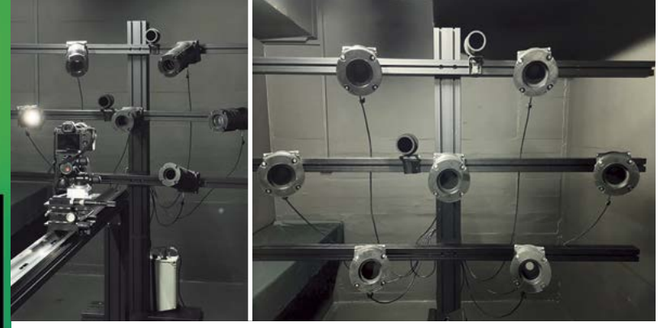


Abb. 1: Elektronenmikroskopische Aufnahme von Referenzstandards im Projekt «ELENA».



Die HiDyni-Quelle mit hohem Leuchtdichtekontrast in Aktion. Links: Gesamtansicht, rechts: Kamerablick.

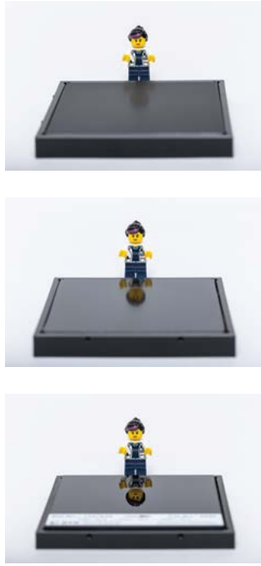
Das METAS beteiligte sich dafür am europäischen Projekt «ELENA» (ELEctrical NAnoscale metrology in industry). Als Messgerät setzte das METAS ein Rastermikrowellenmikroskop ein, das elektrische Messungen mit hoher räumlicher Auflösung ermöglicht. Als Metrologieinstitut lag der Fokus darauf, die Messungen verlässlich zu machen. Dafür wurden Referenzstandards, robuste Kalibriermethoden und eine Software entwickelt. Mit dem Projekt wurde ein wesentlicher Beitrag geleistet, metrologische Prinzipien auch für elektrische Messungen auf kleinen Skalen zu etablieren, damit deren Genauigkeit quantitativ spezifiziert werden kann. Abb. 1 zeigt die Goldstrukturen auf dünnen Membranen, die vom METAS mittels spezialisierter Verfahren im Reinraum am CMI (Center of MicroNano Technology der EPFL) in Lausanne gefertigt wurden. Aus der Geometrie der Goldstrukturen lassen sich die elektrischen Eigenschaften der Standards rechnerisch bestimmen. Der typische Durchmesser dieser Standards ist etwa vierzig Mikrometer.

Website des Projekts «ELENA».

Glanz – neue Messungen des Erscheinungsbildes

Das Erscheinungsbild einer Oberfläche kann durch verschiedene Parameter beschrieben werden, unter anderem durch Farbe, Glanz, Lichtdurchlässigkeit und Textur. In den vergangenen Jahren wurden im Labor Optik drei Messplätze zur Charakterisierung von Farbe und Textur entwickelt. Das Portfolio der Erscheinungsmessungen wurde nun durch einen neuen Messplatz für Glanzmessungen erweitert.

Der Messplatz für Glanzmessungen ist bereit für die Messung einer Hochglanzprobe.



Glanzskala von geringem Glanz (oben) bis zu hohem Glanz (unten).

Glanz ist definiert als das Verhältnis des Lichtstroms einer gegebenen Lichtquelle und eines gegebenen Empfangswinkels, welcher von einem Objekt in spekularer Richtung reflektiert wird (gleich und entgegengesetzt zum Einfallswinkel), zum Lichtstrom, welcher von einem Glas mit spezifischem Brechungsindex in spekularer Richtung reflektiert wird. Zur Unterscheidung des Glanzes verschiedener Proben werden Messungen bei drei Geometrien durchgeführt: 20° für hochglänzende Proben, 60° für mittelglänzende Proben und 85° für mattglänzende Proben.

Der Messaufbau für Glanz ermöglicht die automatische Messung von bis zu vier Proben gleichzeitig bei drei verschiedenen Messgeometrien. Die angestrebte Messunsicherheit beträgt weniger als 0,5 Glanzeinheiten für hochglänzende Proben. Der Messplatz ist für eine breite Palette an Probengrössen geeignet: von 55 × 15 mm bis zu 115 × 115 mm.

Zur Validierung dieses Messplatzes wurde ein internationaler Messvergleich (EURAMET.PR-S7.2024) zur Messung des Glanzes initiiert. Das METAS übernimmt die Rolle des Pilotlabors, während NRC (Kanada) und LNE (Frankreich) als teilnehmende Labore mitwirken. Dieser Messvergleich ermöglicht es dem METAS, CMCs im Bereich der Glanzmessung zu erhalten.

Umwelt, Klima und natürliche Ressourcen

Innovative Messungen von Landwirtschafts- und Verkehrsemissionen

Forschungsaktivitäten des METAS tragen zu genauen Messungen von Luftschadstoffemissionen bei. Basierend darauf können Minderungsmassnahmen ergriffen und Emissionskontrollen verbessert werden.

Emissionen von Luftschadstoffen können den Menschen und seine natürliche Umgebung schädigen. Genaue Messungen sind unerlässlich, um Emissionen lokal zu erkennen und zu reduzieren. Die Emission von Ammoniak aus der Nutztierhaltung und die Freisetzung von Russpartikeln aus Dieselmotoren sind zwei Themen, mit denen sich das METAS in Forschungsprojekten befasst. Die nachfolgenden Beispiele aus den METAS-Laboren zeigen auf, wie durch innovative Messansätze das Verständnis über Landwirtschafts- und Verkehrsemissionen verbessert werden kann.

SI-rückführbare Messung von Ammoniakemissionen in der Nutztierhaltung

Übermässige Stickstoffemissionen beeinträchtigen weltweit die menschliche Gesundheit und die Biodiversität in naturnahen Ökosystemen. Eine der grössten Quelle dieser Emissionen in Europa ist die Nutztierhaltung, die Stickstoff in Form von Ammoniak (NH_3) in die Atmosphäre einträgt.[1] Die Bemühungen, diese Emissionen zu verringern, werden durch grosse Unsicherheiten bei den Emissionsberechnungen behindert. Ein zuverlässiges und SI-rückverfolgbares Monitoring ist daher unentbehrlich, um wirksame Minderungsstrategien umzusetzen. Dieses Ziel wird im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts «quantiAGREMI» verfolgt, an dem das METAS massgeblich beteiligt ist.

Für zuverlässige NH_3-Messungen in Stallungen sind geeignete Referenzgasgemische notwendig, die ähnlich der beprobten Luft zusammengesetzt sind. Das ist herausfordernd, da NH_3 reaktiv und Stallluft feucht ist und zahlreiche Komponenten enthält, die die Messungen stören können. Als Antwort auf diesen Bedarf hat das METAS-Gasanalytiklabor einen mobilen Referenzgasgenerator (ReGaS3) weiterentwickelt, um vor Ort feuchte, SI-rückführbare Referenzgasgemische herzustellen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde in einem Versuchsstall des Kompetenzzentrums des Bundes für landwirtschaftliche Forschung (Agroscope) auch getestet, ob Messgeräte den NH_3-Gehalt in der Stallluft korrekt erfassen und welche Materialien für die Beprobung der Luft geeignet sind. Dank dieser Erkenntnisse und dem mobilen Referenzgenerator können nun in Ställen NH_3-Messungen mit tieferer Unsicherheit durchgeführt werden.

1 Sutton, Mark A., et al., eds. The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives. Cambridge University Press, 2011.

Verdampfer für die Befeuchtung der Referenzgasgemische.

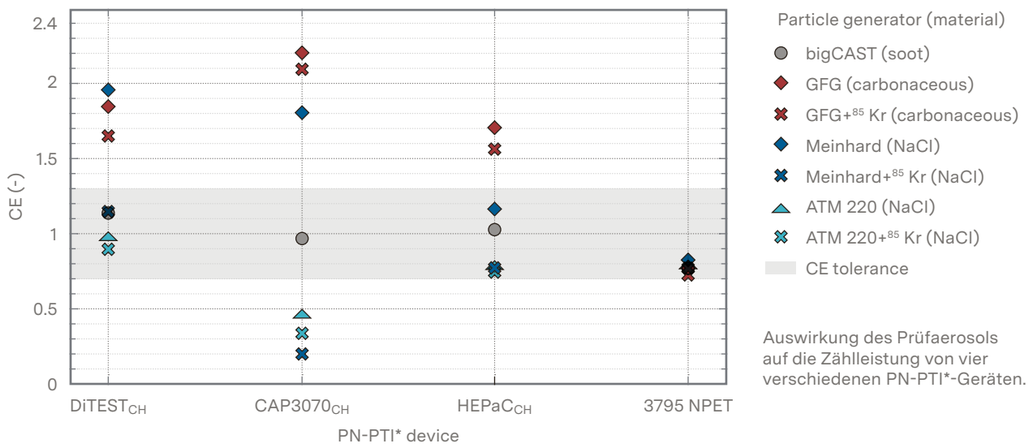
Gasgenerator (ReGaS3) für die Herstellung von Referenzgasgemischen.

Auswirkung des Prüfaerosols auf die Messeffizienz von Partikelzählern

In den meisten städtischen Regionen tragen Fahrzeuge erheblich zur Luftverschmutzung bei. Die Ausrüstung von Dieselmotoren mit Dieselpartikelfiltern (DPF) war ein grosser Fortschritt bei der Emissionskontrolle. In einigen Fällen werden DPF jedoch manipuliert oder sind defekt, sodass die Partikelemissionen von Fahrzeugen den Grenzwert der Typgenehmigung überschreiten können. So kann ein kleiner Teil (ca. 10 %) der Fahrzeuge für bis zu 80–90 % der gesamten Flottenemissionen verantwortlich sein.

Artikel über die Auswirkung des Prüfaerosols auf die Messeffizienz von Partikelzählern.

Zur Verringerung der Partikelemissionen von Dieselmotoren mit Partikelfilter wurde in der Schweiz ein neues Verfahren für die periodische technische Überwachung von Fahrzeugen auf der Grundlage der Messung der Partikelanzahl eingeführt. In einer vom METAS geleiteten Studie wurde untersucht, wie sich die Wahl des Testaerosols auf die Messeffizienz der Partikelzähler auswirkt. Die Messeffizienz bestimmter Instrumente hängt stark von der Morphologie der Testteile ab. Der Vergleich mit einem Dieselmotor ohne DPF zeigte, dass Verbrennungsaerosole von kommerziellen Aerosolgeneratoren der beste Proxy für die Russemissionen von Dieselfahrzeugmotoren sind. Diese Erkenntnis kann den staatlichen Behörden helfen, das Verfahren zur Kalibrierung und jährlichen Überprüfung der Partikelzähler zu optimieren.



Auswirkung des Prüfaerosols auf die Zählleistung von vier verschiedenen PN-PTI*-Geräten.

*PN-PTI: Particle Number - Periodic Technical Inspection (Regelmässige technische Überwachung)

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Engagement in nationalen und internationalen Organisationen

Das METAS ist in nationalen und internationalen Organisationen bestens vernetzt und arbeitet aktiv in deren wichtigen Gremien mit. Das METAS wird allgemein als kompetenter und zuverlässiger Partner geschätzt.

Zusammenarbeit ist auf dem Gebiet der Metrologie unerlässlich (s. Doppelseite 10–11, «Forschung und Entwicklung»). Nur durch sie war es möglich, die Vielzahl von nebeneinander existierenden regionalen Masseinheiten und Einheitensystemen durch das weltweit gültige internationale Einheitensystem (SI) zu ersetzen. International harmonisierte Anforderungen an Messmittel und Messmethoden ermöglichen es überhaupt erst, diese im Handel einzusetzen. Entsprechend wichtig sind die nationale und die internationale Zusammenarbeit für das METAS.

Ein wesentlicher Teil der internationalen Zusammenarbeit findet im Rahmen der Vereinigung der nationalen Metrologieinstitute Europas (EURAMET) statt. Eine wichtige Rolle spielt zudem die Europäische Vereinigung für gesetzliche Metrologie (WELMEC).

Innerhalb der Schweiz pflegt das METAS langfristige Engagements in nationalen Gesellschaften/Fachorganisationen (bspw. Electrosuisse, SCS, SGSMP, SLG, SFC, SPG) und Normierungsgremien (bspw. CES, SNV, VSS), sowie bei Swissmem im Swiss Quantum Industry Network.

Eine Auswahl von Vertretungen von METAS-Spezialisten in Gremien und Institutionen

Dr. Philippe Richard, CIPM (BIPM): Der Direktor des METAS ist seit März 2023 Vizepräsident des CIPM. Ausserdem hat Richard das Präsidium des CIPM-Unterausschusses für Finanzen und des CIPM-Unterausschusses für Governance inne.

Dr. Fabiano Assi, SAS: Der Abteilungsleiter Physik des METAS sitzt seit dem 1. Januar 2024 in der Eidgenössischen Akkreditierungskommission (AKKO) der Schweizerischen Akkreditierungsstelle (SAS).

Dr. Hanspeter Andres, EURAMET: Der Abteilungsleiter Chemie und Biologie des METAS sitzt seit dem 30. Mai 2023 im Board of Directors der EURAMET.

Dr. Bobjoseph Mathew, CIML (OIML): Der Abteilungsleiter Gesetzliche Metrologie des METAS präsidiert seit Oktober 2023 das Comité International de Métrologie Légale (CIML). Dieses ist die entscheidungsfindende Behörde der Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML). Mathew ist für sechs Jahre als CIML-Präsident gewählt.

Dr. Peter Blattner, CIE und **CIPM:** Der Chief Metrology Officer (CMO) des METAS unterstützt nach seinen Jahren als CIE-Präsident noch als Past-President den CIE-Vorstand. Ferner ist er seit November 2023 Delegierter im Forum für Metrologie und Digitalisierung des CIPM.

Dr. Hugo Lehmann, IMEKO und **CIM:** Der Chief Partnership and Technology Transfer Officer des METAS ist seit September 2023 der Schweizer Delegierte der IMEKO. Im August 2024 hat er die Schweiz am Generalrat der IMEKO und an IMEKO Weltkongress in Hamburg vertreten. Hugo Lehmann ist auch Mitglied des Organisationskomitees der CIM2025 in Lyon.

Eine Auswahl der nationalen und internationalen Organisationen und Verbände

National

CES
Schweizer Normenorganisation für Elektrotechnik
›electrosuisse.ch

Electrosuisse
Fachorganisation für Elektro , Energie und Informationstechnik
›electrosuisse.ch

SCS
Swiss Chemical Society
›scg.ch

SGSMP
Swiss Society of Radiobiology and Medical Physics
›ssrpm.ch

SLG
Schweizer Licht Gesellschaft
›slg.ch

SFC
Swiss Society for Food Chemistry
›swissfoodchem.ch

SPG
Schweizerische Physikalische Gesellschaft
›sps.ch

SNV
Schweizerische Normen-Vereinigung
›snv.ch

Swissmem
Verband der Schweizer Tech-Industrie (Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie sowie verwandte Technologiebranchen).
›swissmem.ch

VSS
Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
›vss.ch

International

BIPM
Bureau International des Poids et Mesures
›bipm.org

CEN/CENELEC
Comité Européen de Normalisation en Électrotechnique
›cencenelec.eu

CGPM
Conférence Générale des Poids et Mesures
›bipm.org

CIE
Commission Internationale de l'Éclairage
›cie.co.at

CIM
Congrès International de Métrologie
›cim-metrology.org

CIPM
Comité International des Poids et Mesures
›bipm.org

EMETAS
European Metrological Type Approvals Service
›emetas.net

EURACHEM
A Focus for Analytical Chemistry in Europe
›eurachem.org

EURAMET
European Association of National Metrology Institutes
›euramet.org

IEC
International Electrotechnical Commission
›iec.ch

IMEKO
Internationale Messtechnische Konföderation
›imeko.org

ISO
International Organization for Standardization
›iso.org

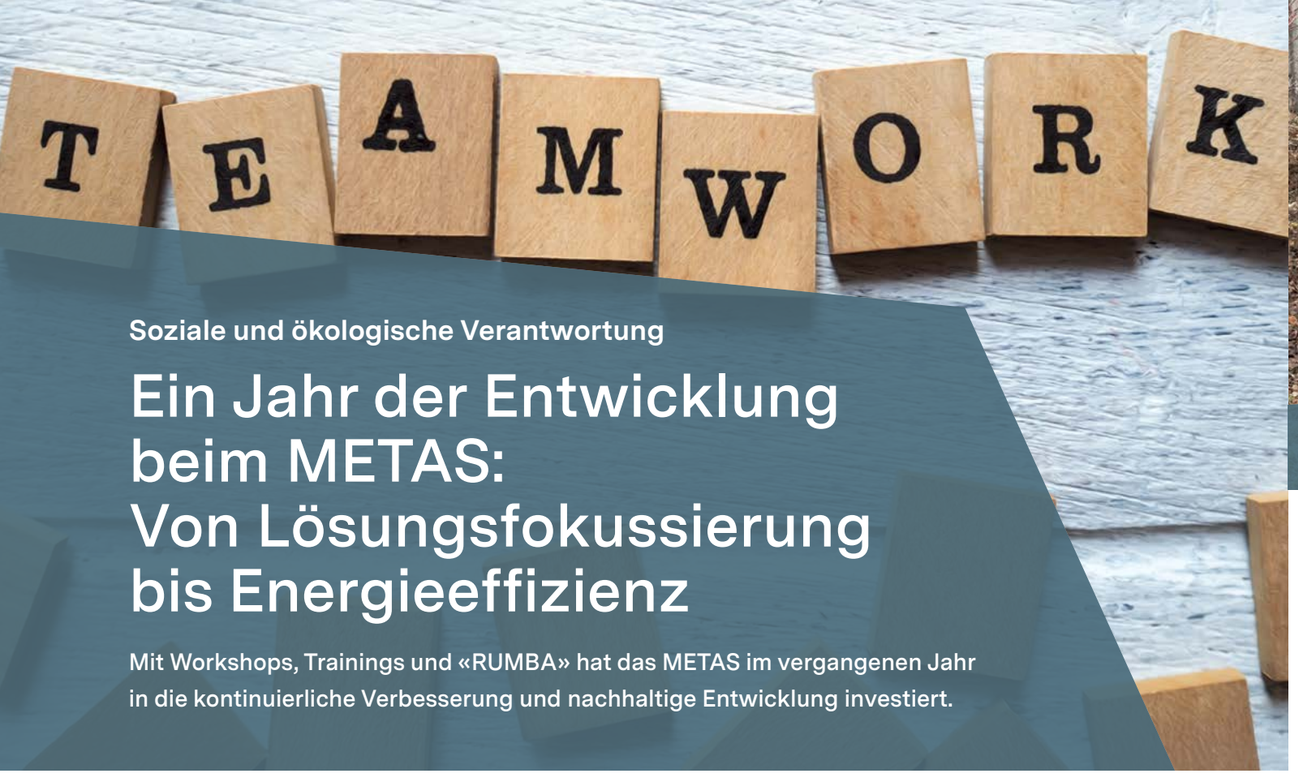
NoBoMet
Notified Bodies in Metrology
›nobomet.org

OIML
Organisation Internationale de Métrologie Légale
›oiml.org

WELMEC
European Cooperation in Legal Metrology
›welmec.org

Europäische Metrologienetzwerke (EURAMET)

Europäische Metrologienetzwerke setzen die Vision einer weltweit führenden Metrologiekapazität von EURAMET und ihrer Mitglieder um. Gemeinsam begegnet man den rasch fortschreitenden Bedürfnissen der Endnutzerinnen und -nutzern mit hochstehender wissenschaftlicher Forschung und einer effizienten und integrierten Infrastruktur. Für das METAS und die Schweiz ist diese Zusammenarbeit zentral, weshalb das METAS sich aktiv an zehn von aktuell zwölf Metrologienetzwerken beteiligt. Im Jahr 2024 ist das METAS dem neu gestarteten Netzwerk «Clean Energy» beigetreten.



Soziale und ökologische Verantwortung

Ein Jahr der Entwicklung beim METAS: Von Lösungsfokussierung bis Energieeffizienz

Mit Workshops, Trainings und «RUMBA» hat das METAS im vergangenen Jahr in die kontinuierliche Verbesserung und nachhaltige Entwicklung investiert.

Im vergangenen Jahr hat das METAS in zwei Bereichen bedeutende Fortschritte erzielt: Durch Workshops in lösungsfokussiertem Handeln wurden alle Mitarbeitenden für ein effektiveres Vorgehen sensibilisiert, während parallel dazu die Führungskräfte sich in gezielten Trainings in ihren Kompetenzen weiterentwickeln konnten. Zum anderen hat das METAS durch das RUMBA-Programm beeindruckende Erfolge in der Steigerung von Energieeffizienz und Nachhaltigkeit erreicht. Diese Massnahmen zeigen das Engagement des METAS für kontinuierliche Verbesserung und nachhaltige Entwicklung.

Workshops Lösungsfokussierung

2024 haben Mitarbeitende, Kader und die Geschäftsleitung des METAS an eintägigen internen Workshops zum Thema «Lösungsfokussierung» teilgenommen. Damit wurde eine Massnahme aus der Personalbefragung 2023 umgesetzt («Weiterbildung: Alle Mitarbeitenden für die Themen ‹Lösungsorientiertes Handeln› und ‹Fehlerkultur› sensibilisieren»). Ziel war es, dass alle Angestellten einen persönlichen Nutzen für ihren Arbeitsalltag erhalten.

Nach kurzen theoretischen Inputs befassten sich die Workshop-Teilnehmenden mit der konkreten praktischen Vertiefung des Gelernten. Inhaltliche Schwerpunkte waren u.a. «Problem vs. Lösung», «Spielräume», «Rollen», «Beweggründe» und «erwünschter Zustand». Zudem konnten sich die Teilnehmenden im Rahmen eines «Kaminfeuergesprächs» mit einem Geschäftsleitungsmitglied austauschen.

Um die Umsetzung nicht aus den Augen zu verlieren, vereinbarten alle Führungskräfte mit ihren Mitarbeitenden ein Verhaltensziel für 2025, mit Schwerpunkt auf die Lösungsfokussierung.

Beim «Stangenspiel» wird klar, wie unglaublich anspruchsvoll die Eigenkoordination einer Gruppe sein kann. Eigentlich müsste die Stange einfach auf den Boden gelegt werden …

Das neueste Elektroauto des METAS an der Aussenladestation. Davor zwei der vier E-Bikes.

Leadership-Trainings

2024 durchliefen alle Führungskräfte ein sogenanntes 270°-Feedback, d.h., sie erhielten Feedback ihrer Mitarbeitenden, von Kollegen und Kolleginnen sowie von ihren Vorgesetzten. Aus diesen Rückmeldungen wurden für die Führungskräfte persönliche Massnahmen abgeleitet und gemeinsame Entwicklungsfelder benannt. Diese bildeten die thematische Basis für drei eintägige Leadership-Trainings zu den Themen «Wirkungsorientiert kommunizieren», «Zusammenarbeit trotz Spannungen und Fehlern optimieren», «Stärkenorientiert Mitarbeitende führen und entwickeln».

Alle Teilnehmenden erhielten zum Abschluss der jeweiligen Schulung einen Auftrag. Um die persönlichen Umsetzungsmassnahmen zu besprechen, wurden drei Monate nach den Schulungen halbtägige «Retrospektiven» durchgeführt. Damit der Praxistransfer auch im Jahr 2025 weitergeht, haben alle Führungskräfte im Rahmen des Personalgesprächs von ihrer vorgesetzten Person ein entsprechendes Ziel erhalten.

Fenster mit Einblick in das Leadership-Training.

Umweltressourcen schonen heisst Energieeffizienz fördern

Im Jahr 2024 hat das METAS durch die konsequente freiwillige Umsetzung des RUMBA-Programms (Ressourcen- und Umweltmanagement der Bundesverwaltung) beeindruckende Fortschritte in der Energieeffizienz erzielt.

RUMBA zielt darauf ab, den Energieverbrauch und die Umweltbelastung in Bundesgebäuden zu minimieren. Durch gezielte Massnahmen in der Gebäudetechnik, wie die Modernisierung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen sowie die Optimierung der Bedingungen in Büros und Labors, konnte das METAS seinen ökologischen Fussabdruck verringern.

Zudem wurde weiter in die E-Mobilität investiert: Zu den bisherigen fünf Elektroautos, welche im Durchschnitt ca. 17 kWh/100 km verbrauchen, und den beiden E-Bikes kam im 2024 noch ein weiteres Elektroauto hinzu. Zur Ergänzung der bereits bestehenden Ladeinfrastruktur in der Garage des METAS können E-Autos neu auch an der zusätzlich installierten Aussenladestation vor dem Haupteingang aufgeladen werden.

Pläne wie der Ersatz der Heizungsanlage und die Realisierung einer Photovoltaik-Anlage zur Reduzierung der CO_2-Emissionen sind beim Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL) vorgestellt und sollen in den kommenden Jahren umgesetzt werden.

Ressourcen- und Umweltmanagement der Bundesverwaltung RUMBA

Im Auftrag des Bundes

Zuverlässige Messungen für die öffentliche Hand

Das METAS erbringt Beratungen, Messdienstleistungen und komplexe Analysen wie Probennahmen, Instandhaltungen und Prüfungen im Labor bzw. vor Ort und erfüllt so seinen Auftrag des Bundes.

Diverse Bundesämter benötigen Messdienstleistungen höchster Zuverlässigkeit. Das METAS erbringt diese u.a. zugunsten des Bundesamtes für Strassen ASTRA, des Bundesamtes für Zoll und Grenzsicherheit BAZG, des Bundesamtes für Gesundheit BAG und des Bundesamtes für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV.

Mit seinen Dienstleistungen unterstützt das METAS die Behörden durch eine sichere und qualitativ hochstehende Beurteilung der durch die Verwaltung erhobenen Proben und angeordneten Messungen.

Chemische und biologische Analysen für nationale Monitoringstudien des BLV

Unsere Gesundheit wird auf vielfältige Weise beeinflusst.

Mit chemischen und biologischen Analysen unterstützt das METAS tatkräftig das BLV bei dessen Hauptaufgabe, die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen und Tieren aktiv zu fördern.

Human-Biomonitoringstudien, bei welchen Daten über den Gesundheitszustand, die chemische Belastung und den Ernährungsstatus der Schweizer Bevölkerung gesammelt werden, liefern wertvolle Hinweise, nicht nur über deren allgemeinen Gesundheitszustand, sondern auch über Umwelteinflüsse auf unsere Gesundheit.

Momentan werden am METAS für zwei unterschiedliche Studien diverse Spurenelemente und toxische Elemente (Jod, Kupfer, Selen, Zink, Arsen, Blei, Cadmium) und organische Verbindungen (Bisphenole, Phthalate sowie per- und polyfluorierte Alkylverbindungen [PFAS]) bestimmt. Diese Aufgabe beinhaltet auch die Optimierung der Analysemethoden, um effizient Hunderte von Proben für die Analysen vorzubereiten und zu messen.

Beurteilung der Füllhöhe eines Probenröhrchens, vor dem Einführen ins Aufschlussgerät (unten rechts im Bild). Darin werden Blut-, Serum- und Urinproben für die anschliessende Elementanalyse verdaut.

Anschluss des MetaSpeed an ein stationäres Geschwindigkeitsmessmittel in Thun BE.

MetaSpeed: Neues Prüfmittel für Induktionsschleifen

Als Induktionsschleifen werden Kupferdrähte bezeichnet, welche fix im Strassenbelag verlegt sind und mit deren Hilfe Fahrzeugüberfahrten detektiert werden können.

Werden Induktionsschleifen für amtliche Geschwindigkeitskontrollen oder Rotlichtüberwachungen im Strassenverkehr verwendet, müssen sie jährlich durch den Fachbereich Strassenverkehr geeicht werden. Bei der Eichung vor Ort werden elektrische Kenngrössen geprüft und ein Geschwindigkeitsmessvergleich gegenüber einem Referenzsystem wird durchgeführt. Diese Prüfaufgaben werden nun alle vom neuen MetaSpeed abgedeckt, einem kompakten, robusten und batteriebetriebenen Prüfmittel.

Das MetaSpeed prüft sämtliche Induktionsschleifen an einer Strasse komplett und automatisiert.

Mit Hilfe von internen und externen Partnern wurden vier Stück entwickelt und produziert. Das MetaSpeed erlaubt sämtliche Induktionsschleifen an einer Strasse in wenigen Minuten komplett und automatisiert zu prüfen. Dadurch konnten die Effizienz, die Zuverlässigkeit und die Sicherheit der Eichungen an viel befahrenen Strassen markant erhöht werden.

METAS-Analysen unterstützen die Warenkontrolle des BAZG

Seit einigen Jahren unterstützt das METAS durch chemische, physikalische und biologische Analysen das Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit (BAZG) bei der Kontrolle des grenzüberschreitenden Warenverkehrs. 2025 wurden 1459 Proben vom Lebensmittel bis zur technischen Zubereitung untersucht. Weil diese Proben den Mitarbeitenden des BAZG an der Grenze aufgefallen waren, wurden sie ans METAS zur eingehenden analytischen Untersuchung geschickt. Dabei konnten bei 15 Prozent der Proben Unstimmigkeiten in Bezug auf die Deklaration und/oder die geschuldeten Steuern bzw. Abgaben analytisch nachgewiesen werden. Das METAS leistet so einen Beitrag zur Zuverlässigkeit der Warendeklarationen und zur Steuergerechtigkeit im grenzüberschreitenden Warenverkehr.

Die analytischen Dienstleistungen für METAS-Kunden erfordern ein modern ausgestattetes Labor und sehr gut ausgebildete Mitarbeitende.

Metrologie im Markt

Präzision für Qualität, Sicherheit und Vertrauen

Die Qualitätsinfrastruktur der Schweiz gewährleistet, dass Produkte und Dienstleistungen den höchsten Standards entsprechen.

Ob Industrie, Handel oder Verbraucherschutz – eine funktionierende Qualitätsinfrastruktur ist essenziell. Sie sorgt für exakte Messungen, klare Normen und verlässliche Zertifizierungen. Das METAS leistet dabei einen entscheidenden Beitrag, indem es die metrologische Grundlage für Präzision, Sicherheit und Fairness im Markt schafft.

Das METAS ist ein wichtiger Teil der Schweizer Qualitätsinfrastruktur

Die Qualitätsinfrastruktur (QI) gewährleistet die Qualität, Sicherheit und Effizienz von Produkten, Dienstleistungen und Prozessen. Sie ist das Rückgrat moderner Wirtschaftssysteme, erleichtert den internationalen Handel, fördert technologische Entwicklungen und schützt Verbraucher und Umwelt.

Der Begriff «Qualitätsinfrastruktur» ist nicht zu verwechseln mit der «Qualität der Infrastruktur», z. B. der Qualität von Strassen, Brücken oder Energieversorgungsnetzen.

In einer globalisierten Welt sind Unternehmen und Verbraucher auf ein verlässliches System angewiesen, das sicherstellt, dass Produkte und Dienstleistungen bestimmten Standards entsprechen. Eine gut funktionierende QI verbessert die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen, erleichtert den Marktzugang und minimiert technische Handelshemmnisse. Sie fördert Innovationen und stellt sicher, dass gesetzliche Anforderungen erfüllt werden.

Die QI basiert auf fünf zentralen, eng miteinander verbundenen Säulen: Metrologie, Normierung (Standardisierung), Akkreditierung, Zertifizierung-Prüfung-Testen und Regulierung.

Das METAS ist das nationale **Metrologie**institut (NMI) der Schweiz. Als solches hat es den Auftrag, dafür zu sorgen, dass in der Schweiz mit der Genauigkeit gemessen werden kann, welche für die Belange der Wirtschaft, Forschung und Verwaltung erforderlich ist.

Die Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV) koordiniert die Entwicklung, Verabschiedung und Umsetzung von **Normen** (Standards) in verschiedenen Wirtschaftssektoren. Viele Experten unterstützen die Normierungsaktivitäten auf nationaler und internationaler Ebene in diversen Normierungsgremien.

Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV)

Akkreditierung bedeutet die formelle Anerkennung der fachlichen und organisatorischen Kompetenz einer Stelle, eine konkrete, im Geltungsbereich der Akkreditierung beschriebene Dienstleistung durchzuführen. Die Schweizerische Akkreditierungsstelle SAS begutachtet und akkreditiert Konformitätsbewertungsstellen (KBS) aufgrund der entsprechenden internationalen Normen. Das METAS unterstützt die Akkreditierungsaktivitäten, indem viele seiner Experten als technische Begutachter aktiv sind.

Schweizerische Akkreditierungsstelle SAS

Zusätzlich zu Kalibrierungen führt das METAS **Prüfungen und Tests** nach internationalen Normen durch. Die akkreditierte Konformitätsbewertungsstelle METAS-Cert ist die von der Schweiz bezeichnete, EU-anerkannte Stelle für die Konformitätsbewertung von Messmitteln und führt die vorgeschriebenen Konformitätsbewertungen für Hersteller durch (s. Kasten).

Bundesgesetz über das Eidgenössische Institut für Metrologie (EIMG, SR 941.27)

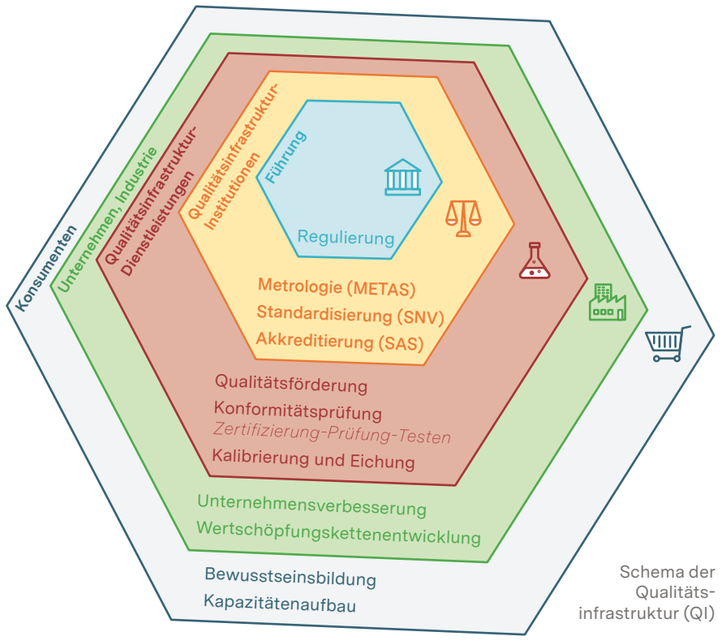
Mit dem Vollzug des Messgesetzes ist das METAS auch im Bereich der **Regulierung** tätig. Zudem unterstützt es andere Bundesstellen bei der Gesetzgebung in allen messtechnischen Fragen. Die weiteren Aufgaben stehen im Bundesgesetz über das Eidgenössische Institut für Metrologie (EIMG).

Beitrag von METAS-Cert zur Qualitätsinfrastruktur
Das METAS hat die Konformitätsbewertungsstelle METAS-Cert auf der Basis der bilateralen Verträge mit der EU (seit 2004) aufgebaut.

Konformitätsbewertungsstelle METAS-Cert

METAS-Cert führt Konformitätsbewertungen für Messmittel durch, bspw. Bauartprüfungen, Zertifizierung von Qualitätssicherungssystemen und Produktprüfungen. Konformitätsbewertete Messmittel tragen die metrologische CE-Kennzeichnung (s. Titelbild): Rechteck mit Metrologie-M, Jahreszahl und Kennnummer der benannten Stelle[1] (METAS-Cert: 1259).

Mit diesen Zertifizierungen können Hersteller ihre Messmittel konform auf den Schweizer und den europäischen Markt bringen. METAS-Cert ist weltweit tätig.



Schema der Qualitätsinfrastruktur (QI)

Institutionen der Schweizer Qualitätsinfrastruktur

Metrologie: Das METAS gewährleistet die Rückführbarkeit von Messungen auf international anerkannte Realisierungen von Messgrössen und Einheiten.

Normierung: Die SNV koordiniert die Entwicklung, Verabschiedung und Umsetzung von Normen in verschiedenen Wirtschaftssektoren.

Akkreditierung: Die SAS gewährleistet die Kompetenz von Prüf- und Zertifizierungsstellen.

Mit der EU harmonisierte Messmittel: Waagen, Wasserzähler, Gaszähler, elektrische Energiezähler, Wärmezähler, Messanlagen für Flüssigkeiten ausser Wasser, Ausschankmasse, Längenmasse und multidimensionale Messmittel.

Hersteller erhalten bei METAS-Cert verschiedene Zertifizierungen aus einer Hand. Die so in Verkehr gebrachten Messgeräte können mit Vertrauen verwendet werden.

1 Eine «benannte Stelle» (Notified Body) wurde von einer nationalen Behörde benannt und ermächtigt, Konformitätsbewertungen für bestimmte Produkte vor deren Markteinführung durchzuführen.

Produktprüfung einer Brückenwaage

Finanzen

Das Rechnungsjahr 2024 schloss das METAS mit einem Gewinn von 921 000 Franken ab. Der Aufwand belief sich auf 59,6 Millionen Franken und an Erträgen wurden 60,5 Millionen Franken (inklusive Abgeltungen) erwirtschaftet.

Bilanz	**31.12.2024** Tsd. CHF	**31.12.2023** Tsd. CHF
Flüssige Mittel	30 916	27 355
Forderungen aus Leistungen	3 525	4 137
Forderungen Forschungsprojekte	4 552	2 557
Übrige Forderungen	175	193
Vorräte	22	44
Aktive Rechnungsabgrenzungen	1 380	1 361
Umlaufvermögen	**40 570**	**35 646**
Sachanlagen	21 891	22 039
Immaterielle Anlagen	4 208	3 609
Anlagevermögen	**26 099**	**25 648**
Total Aktiven	**66 669**	**61 294**
Verbindlichkeiten aus Lieferungen und Leistungen	1 490	1 176
Verbindlichkeiten Forschungsprojekte	6 062	2 365
Übrige Verbindlichkeiten	989	1 046
Passive Rechnungsabgrenzungen	2 212	1 282
Kurzfristiges Darlehen	366	366
Kurzfristige Rückstellungen	1 475	1 559
Kurzfristiges Fremdkapital	**12 594**	**7 794**
Langfristiges Darlehen	732	1 098
Rückstellung für Pensionskassenverbindlichkeiten	23 215	18 984
Rückstellungen für Treueprämien	1 569	1 524
Langfristiges Fremdkapital	**25 516**	**21 606**
Bilanzverlust	–6 342	–7 209
Kumulierte versicherungsmathematische Verluste/Gewinne	29 699	33 955
Reserven für Anlagevermögen	4 281	3 413
Gewinn	921	1 735
Eigenkapital	**28 559**	**31 894**
Total Passiven	**66 669**	**61 294**

Erfolgsrechnung	**2024** 1.1.2024–31.12.2024 Tsd. CHF	**2023** 1.1.2023–31.12.2023 Tsd. CHF
Gebühren	11 437	9 241
Abgeltungen Bund	25 918	25 681
Abgeltung Bund mit direkt zurechenbarer Gegenleistung	8 684	8 921
Erträge Drittmittel (ohne Forschung)	11 097	10 689
Drittmittel Forschung	2 376	1 753
Übrige Erträge	149	134
Bruttoerlöse	**59 661**	**56 419**
Ertragsminderung	–5	–4
Eigenleistungen	754	625
Nettoerlös	**60 410**	**57 040**
Gewinn aus Verkauf von Anlagevermögen	**74**	**23**
Aufwand für Material und Drittleistungen	**–3 145**	**–599**
Personalaufwand	–38 515	–37 091
Raumaufwand	–7 991	–7 772
Informatikaufwand	–2 068	–1 783
Sonstiger Betriebsaufwand	–3 667	–3 939
Abschreibungen	–3 889	–3 917
Betriebsaufwand	**–56 130**	**–54 502**
Finanzertrag	22	9
Finanzaufwand	–20	–96
Finanzergebnis	**2**	**–87**
Steueraufwand	**–290**	**–140**
Gewinn	**921**	**1 735**

Das METAS konnte im Berichtsjahr seine Tätigkeiten zu 58,1 % selbst finanzieren.
Zur Selbstfinanzierung trugen Gebühren, Abgeltungen für die Übernahme weiterer Aufgaben und Drittmittel bei.
Die Revisionsstelle hat die Ordnungsmässigkeit der Rechnungsführung vorbehaltlos bestätigt.

Die Rechnungslegung des METAS erfolgt nach dem Rechnungslegungsstandard der International Public Sector Accounting Standards (IPSAS).

Vorträge und Publikationen des METAS

Die Tätigkeiten des METAS in Forschung und Entwicklung innerhalb des Berichtsjahres werden der Öffentlichkeit auch in Form von Vorträgen und Publikationen zugänglich gemacht.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des METAS präsentierten auch in diesem Berichtsjahr die Ergebnisse ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sowie ihr profundes Fachwissen auf Fachtagungen und Konferenzen in Form von Vorträgen, und sie verfassten eine namhafte Anzahl wissenschaftlicher Publikationen über ihre Ergebnisse. Durch ihre Mitarbeit in Fachorganisationen und Fachgremien brachten sie auch auf nationaler und internationaler Ebene ihr Know-how und ihre Erfahrung ein. Auf diese Weise machten die METAS-Forschenden die Metrologie einem breiteren Publikum auch ausserhalb des engeren Fachkreises bekannt. Zudem engagierten sie sich in Lehrveranstaltungen für Studierende an Hochschulen.

Die nachfolgenden Zusammenstellungen enthalten eine Übersicht der wichtigsten von Mitarbeitenden des METAS gehaltenen Vorträge sowie der von ihnen oder unter ihrer Mitwirkung veröffentlichten Publikationen.

Die Vorträge sind nach der/dem METAS-Hauptvortragenden alphabetisch aufsteigend sortiert, und die Publikationen sind nach der/dem erstauftretenden METAS-Autorin/METAS-Autoren, dann nach den Hauptautorinnen/Hauptautoren und schliesslich nach den Co-Autorinnen/Co-Autoren alphabetisch aufsteigend sortiert.

Alle Namen der METAS-Mitarbeitenden sind **fett** hervorgehoben.

Vorträge

A **André, M-A.** & **Pythoud F.,** Metrologie schafft Vertrauen, Präsentation für das Forensische Institut Zürich, 29.02.2024

Andres, H., Chemical and biological references at the Federal Institute of Metrology METAS, CHAnalysis 2024, Beatenberg, 10.04.2024

Andres, H., Metrology ermöglicht Vertrauen im täglichen Leben, IRM Basel Vortragsserie Herbst 2024, 13.11.2024

Assi, F., The journey to METAS, InSight – Materials Alumni berichten aus ihrem Arbeitsalltag, ETHZ, 19.03.2024

Auderset, K., Experiences with particle-measuring devices for PTI, VERT-NPTI Implementation Workshop, 21.03.2024

B **Bissig, H.,** Calibration of flow devices under actual flow conditions with inline measurement of the viscosity of the liquid, Conference on Microfluidic Handling Systems, 21.–23.02.2024, München (D), 22.02.2024

Bissig, H., Comparison of primary standards for liquid flow in the range from 0.1 µL/min to 10 µL/min, 24. IMEKO World Congress, Hamburg (D), 27.08.2024

Blattner, P., Digitalisation of Legal Metrology: Challenges and Opportunities, OIML Digitalization Task Group Webinar Series, online, 24.07.2024

Blattner, P., SI definition of the candela and high level objective of photometry, CCPR and CIE Expert Workshop – 100 Years of V(l) and the future of photometry, BIPM, Sèvres (F), 03.06.2024

Bodor, P., Akustika Herbstwebinar 2024, Akustika Herbstwebinar, online, 30.09.2024

Bühlmann, T., SI-traceable quantification of halogenated VOCs in the atmosphere, 1st CIPM STG-CENV Stakeholder Meeting, Paris (F), 17.09.2024

E **Eckmann, B.,** Scanning Microwave Microscopy for Biomedical Applications, CNB – Clinical Neuroscience Bern 2024, 06.09.2024

F **Frigo, G.,** An Uncertainty-based Criterion for Aggregation of Consistent ROCOF Measurements, 2024 International Conference on Smart Grid Synchronized Measurements and Analytics (SGSMA), Washington DC (USA), 21.05.2024

Frigo, G., DC power and energy and DCPQ reference systems with distorted signals, DC Grids Final Stakeholder Meeting, Delft (NL), 16.05.2024

Frigo, G., Inter-Laboratory Comparison of Reference Systems for DC Power Quality Measurements, 2024 IEEE 14th International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), Caserta (I), 19.09.2024

Frigo, G., Measurements for smart electricity grids: workshop and open consultation, EMN Smart Electricity Grids Annual Meeting, Delft (NL), 15.05.2024

Frigo, G., Transfer Standard for the Assessment of Spurious Emissions in DC Power, IMEKO 2024 XXIV World Congress, Hamburg (D), 27.08.2024

Frigo, G., Utilizing Matrix Profile for Enhanced Detection of Events in Sampled Values, 2024 IEEE 14th International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), Caserta (I), 18.09.2024

Fritsche, J., Generation of humid NH3 reference gas mixtures at trace levels, Gas Analysis 2024, Paris (F), 01.02.2024

Fritsche, J., Generators for continuous preparation of dry and humid NH3 reference gas mixtures, Special Session at Air Quality Conference, Helsinki (FIN), 14.05.2024

Fritsche, J., quantiAGREMI – Ammonia and greenhouse gas emissions from livestock farming, Picarro Ammonia Summit, Aarhus (DK), 20.03.2024

H **Hoffmann, J.,** S-Parameters on Printed Circuit Boards for Cryogenic Environment, CPEM 2024, Denver, CO, (USA) 08.07.2024

Hung-Ju, L., RF measurements for future communications applications, EPFL CMi Annual Review Meeting 2024, 14.05.2024

Husmann, D., Detection and analysis of anthropogenic patterns in a phase-stabilized optical fiber network, EFTF 2024, Neuenburg, 25.06.2024

Husmann, D., Exploiting frequency metrology fiber networks for earthquake sensing, SPS Annual Meeting 2024, Zürich, 12.09.2024

Husmann, D., Metrological frequency dissemination through a fiber optic network, QIDiS, Quantum Industry Days, Basel, 23.09.2024

Husmann, D., Time and frequency standards at METAS and their applications for precision measurements, PSAS 2024, International Conference on Precision Physics of Simple Atomic Systems, ETH Zürich, 10.06.2024

Huu de, M., Comparison of gravimetric standards for hydrogen refuelling stations, 24. IMEKO World Congress, Hamburg (D), 27.08.2024

Huu de, M., Dimension calibration of small critical flow Venturi nozzles, 24. IMEKO World Congress, Hamburg (D), 28.08.2024

Huu de, M., High pressure hydrogen metering, METAS-Seminar, 01.10.2024

I **Iturrate-Garcia, M.,** Assessing parameters affecting low-cost gas sensor response signal, EMN COO Annual General Meeting, 11.06.2024

Iturrate-Garcia, M., Assessing parameters affecting low-cost gas sensor response signals in the European photoreactor (EUPHORE) simulation chamber, Gas Analysis 2024, Paris (F), 31.01.2024

Iturrate-Garcia, M., Transferring metrological principles to low-cost sensors used in networks for air quality monitoring, 1st CIPM STG-CENV Stakeholder Meeting, Paris (F), 16.09.2024

J **Jallageas, A.,** Sub-ns long-haul dissemination of UTC(CH) using White Rabbit in Switzerland, CERN 2024 White Rabbit Workshop, 21.03.2024

Jallageas, A., White Rabbit in Switzerland: a first loop network for long-haul dissemination of UTC(CH), EFTF 2024, Neuenburg, 25.06.2024

L **Lauterbach, K-U.,** Koaxialkabel und deren Anwendung in der EMV, 65. Sitzung der PEGESS, Biel, 20.03.2024

Lehmann, H., METAS – The most accurate place in Switzerland, Federal Office Day, EPF Lausanne , 07.10.2024

Lehmann, H., METAS – The most accurate place in Switzerland, PolyMesse, ETH Zürch, 10.04.2024

Lehmann, H., Metrology for the 2nd Quantum Revolution, IMEKO 2024 World Congress, Hamburg (D), 26.08.2024

Lin, H., A novel Coaxial On-wafer Probe: Manufacturing and relevant Performance Tests, FutureCom Workshop at IEEE Symposium M&N 2024, 03.07.2024

M **Mallia, S.,** Authenticity of Swiss honey by trace element profile and stable strontium isotopic composition, Fachtagung NRL-MN, 21.11.2024

Mallia, S., ICP-MS- und ICP-OES Methode für die Analyse von Mikro- und Makroelementen in Fleisch- und Milchersatzsprodukten, Fachtagung NRL-MN, 21.11.2024

Mallia, S., News vom EURL-MN, 21.11.2024, Fachtagung NRL-MN, Fachtagung NRL-MN, 21.11.2024

Mallia, S., WP-CBR001 – A new matrix CRM to support food safety, ILMAC 2024 Lausanne, 19.09.2024

N **Niederhauser, B.,** Metrologie, METAS, Terminologie, Messunsicherheit, Konformität und Atemalkoholmessung, Vorlesung an der ZHAW Wädenswil im Rahmen vom Master Forensik, Modul Analytical Technologies, 02.12.2024

Niederhauser, B., New Absorption Coefficient for the UV-photometry of Ozone, Cercl'Air ERFA, Luzern, 05.09.2024

Niederhauser, J., Was ist eine Schaltsekunde und weshalb sollen Schaltsekunden nächstens abgeschafft werden?, SwissEngineering Fachgruppe Elektronik und Informatik (FAEL), FAEL-Herbstseminar «Zeit» – Uhrenindustrie Schweiz, PH Zürich, 20.11.2024

P **Peier, P.,** Radondosimetrie und Radonreferenz, ENSI Strahlenschutzseminar 2024, Windisch, 31.10.2024

Préville de, S., A Calibration Tool for Scanning Microwave Microscopy, ALTECH 2024 – Analytical techniques for accurate nanoscale characterization of advanced materials, Strasbourg (F), 27.05.2024

Préville de, S., Resistive standards for scanning microwave microscopy, EPFL CMi Annual Review Meeting 2024, 14.05.2024

Pythoud, F., Antennen-Symmetrie, 66. PEGESS-Sitzung, 10.02.2024

Pythoud, F., Konformitätsbeurteilung von Basisstationen, Cercle Air Sitzung, Zürich, 12.09.2024

R **Roos, D.,** METAS: the new WMO-GAW Central Calibration Laboratory for halogenated VOCs, CHAnalysis 2024, Beatenberg, 11.04.2024

T **Tas, E.,** METAS' Activities on 5G NR RF Exposure, Austauschplattform «Mobilfunk der Zukunft», Verantwortung BAFU, fand im METAS statt, 01.11.2024

Tas, E., Traceability of 5G NR RF Exposure Measurements, EUCAP 2024, Glasgow (UK), 22.03.2024

V **Vasilatou, K.,** PN-PTI in Switzerland: regulations, research findings and next steps, VERT-NPTI Workshop, 06.12.2024

Vasilatou, K., Primary standards and calibration strategies for filter photometers and aerosol spectrometers, EMN COO Annual General Meeting, 11.06.2024

Vasilatou, K., Type approval and verification of particle-measuring devices for PTI, CALAC+ Workshop «Challenges in Implementing Technologies for Cleaner Transport in Latin American Cities», 09.08.2024

Z **Zeier, M.,** Introduction to S-Parameter Metrology, BIPM CCEM Webinar, 25.01.2024

Zeier, M., VNA Tools - a metrology software supporting the digital traceability chain, IMEKO 2024 Workshop on Digital Traceability, Hamburg (D), 28.08.2024

Leserumfrage zum Tätigkeitsbericht

Bitte nehmen Sie sich kurz Zeit, die Leserumfrage zum Tätigkeitsbericht «Das METAS im Jahr 2024» auszufüllen. Das METAS möchte Sie gerne etwas näher kennenlernen und erfahren, ob es in der nächsten Ausgabe allenfalls etwas besser machen könnten.

Es erwarten Sie elf Fragen, wovon ein paar optional sind. Ihr Zeitaufwand wird ca. fünf Minuten betragen. Sie können diese Umfrage völlig anonym ausfüllen, oder uns auch gerne etwas mehr über sich selbst verraten.

Das METAS ist sehr gespannt auf Ihre Antworten!

Zum Start der Leserumfrage bitte den QR-Code scannen.

Publikationen

A **Agustoni, M.** & **Frigo, G.,** Characterization of Analog Front-End in PMU Design for Inertia Monitoring, doi: 10.1109/I2MTC60896.2024.10560540.

Agustoni, M. & **Overney, F.** & **Eichenberger, A.-L.** & Kučera, J., Accurate Comparison of Calculable HF Resistance Standards, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646143.

B Faghih Niresi, K. & **Bissig, H.** & **Baumann, H.** & Fink, O., Physics-Enhanced Graph Neural Networks for Soft Sensing in Industrial Internet of Things, in: IEEE Internet of Things Journal (11), doi: 10.1109/JIOT.2024.3434732.

Guzzini, A. & **Bissig, H.** & Saccani, C. et al., Hydrogen in natural gas grids: prospects and recommendations about gas flow meters, in: International Journal of Hydrogen Energy (86), doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.08.344.

Blattner, P. & Brown, R. J. C., Relating SI units to the 'defining constants', in: Metrologia (61), doi: 10.1088/1681-7575/ad4cef.

Martinsons, C. & **Blattner, P.** & Herf, M. et al., Reconsidering the spectral distribution of light: Do people perceive watts or photons?, in: Lighting Research & Technology (56), doi: 10.1177/14771535241246060.

Breuninger, E. S. & **Bouchet, S.** & Mestrot, A. et al., Marine and terrestrial contributions to atmospheric deposition fluxes of methylated arsenic species, in: Nature Communications (15), doi: 10.1038/s41467-024-53974-z.

Müller, E. & **Bouchet, S.** & Winkel, L. H. E. et al., Reactions of hypobromous acid with dimethyl selenide, dimethyl diselenide and other organic selenium compounds: kinetics and product formation, in: Environmental Science: Water Research & Technology (10), doi: 10.1039/D3EW00787A.

ThomasArrigo, L. K. & **Bouchet, S.** & Nydegger, T. et al., Emerging investigator series: Coprecipitation with glucuronic acid limits reductive dissolution and transformation of ferrihydrite in an anoxic soil, in: Environmental Science: Processes & Impacts (26), doi: 10.1039/D4EM00238E.

Spitschan, M. **Bouroussis, C. A.** & **Caspar, P.** et al., Illuminating the future of wearable light metrology: Overview of the MeLiDos Project, in: Measurement (235), doi: 10.1016/j.measurement.2024.114909.

Burkhard, S. & **Küng, A.,** Beam hardening correction based on image noise statistics, in: Measurement Science and Technology (35), doi: 10.1088/1361-6501/ad2d4f.

Burkhard, S. & **Küng, A.,** Exact computation of projected sphere centres in cone beam x-ray projections, in: Measurement Science and Technology (35), doi: 10.1088/1361-6501/ad3bde.

C **Cen, T.,** Development of Hyphenated Analytical Techniques using spICP-MS for Online Characterization of Metallic Nanoparticles in Aerosols, doi: 10.5075/EPFL-THESIS-10787.

Cen, T. & Torrent, L. et al., Rotating disk diluter hyphenated with single particle ICP-MS as an online dilution and sampling platform for metallic nanoparticles characterization in ambient aerosol, in: Journal of Aerosol Science (175), doi: 10.1016/j.jaerosci.2023.106283.

Cen, T. & Zhang, Z. & Torrent, L. et al., Airborne metal nanoparticles released by azides detonation: determination and potential public exposure, in: Scientific Reports (14), doi: 10.1038/s41598-024-67540-6.

Cen, T. & Zhao, Y.-B. & Testino, A. et al., Dilution versus fractionation: Separation technologies hyphenated with spICP-MS for characterizing metallic nanoparticles in aerosols, in: Journal of Aerosol Science (177), doi: 10.1016/j.jaerosci.2023.106317.

Turhan, E. & **Corminboeuf, D.** et al., EURAMET.EM-S44 comparison for ultra-low DC current sources, in: Metrologia (60), doi: 10.1088/0026-1394/60/1a/01002.

E **Eckmann, B.** & **Lin, H.-J.** & **Préville de, S.** & **Hoffmann, J.** & **Zeier, M.** et al., Coaxial tips for a scanning microwave microscope and its calibration with dielectric references, in: Measurement Science and Technology (35), doi: 10.1088/1361-6501/ad480d.

Eichenberger, A. L. & **Overney, F.** & **Agustoni, M.,** Pulse Shape Optimisation of a Josephson Arbitrary Waveform Synthesizer, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646147.

F Subiel, A. & **Frei, F.** & **Peier, P.** & Bourgouin, A. et al., Application of Primary Standards in Flash Radiotherapy, in: International Journal of Particle Therapy (12), doi: 10.1016/j.ijpt.2024.100238.

Frigo, G. & Castello, P. & Gallus, G. et al., Internal Time Reference Enhancement via White Rabbit Synchronization: A Power System Measurement Perspective, doi: 10.1109/SGSMA58694.2024.10571544.

Frigo, G. & Gallus, G., Transfer standard for the assessment of spurious emissions in DC power, in: Measurement: Sensors, doi: 10.1016/j.measen.2024.101716.

Frigo, G. & Gallus, G. & Pegoraro, P. A. et al., Combining Steady-State Accuracy and Responsiveness of PMU Estimates: An Approach Based on Left and Right Taylor–Fourier Expansions, in: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (73), doi: 10.1109/TIM.2024.3384553.

Frigo, G. & Giordano, D. & Signorino, D., Inter-Laboratory Comparison of Transfer Standard for DC Power Measurements in Nominal and Distorted Conditions, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646155.

Frigo, G. & Macii, D. & Petri, D., Accuracy Comparison of Frequency and ROCOF Dynamic Estimators under Contingencies, doi: 10.1109/I2MTC60896.2024.10560661.

Frigo, G. & Macii, D. & Petri, D., An Uncertainty-based Criterion for Aggregation of Consistent ROCOF Measurements, doi: 10.1109/SGSMA58694.2024.10571405.

Frigo, G. & Negri, V. & Mingotti, A. et al., Validating Inertia Assessment Metrics in Distribution Systems with High RES Penetration, doi: 10.1109/AMPS62611.2024.10706692.

Frigo, G. & Pegoraro, P. A. & Toscani, S., Compressive Sensing Taylor-Fourier Multifrequency Approach for Three-Phase Signals, doi: 10.1109/AMPS62611.2024.10706694.

Frigo, G. & Van Leeuwen, R. & Van Den Brom, H. et al., Inter-Laboratory Comparison of Reference Systems for DC Power Quality Measurements, doi: 10.1109/AMPS62611.2024.10706676.

Agazar, M. & **Frigo, G.** & Giordano, D. et al., Power Grids and Instrument Transformers up to 150 kHz: A Review of Literature and Standards, in: Sensors (24), doi: 10.3390/s24134148.

Castello, P. & **Frigo, G.** et al., Utilizing Matrix Profile for Enhanced Detection of Events in Sampled Values, doi: 10.1109/AMPS62611.2024.10706669.

Elg, A.-P. & **Frigo, G.,** Rietveld, G. et al., High-Voltage Metrology for Electric Energy and Supply Reliability, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646152.

Morato, A. & **Frigo, G.** & Tramarin, F., 5G-Enabled PMU-Based Distributed Measurement Systems: Network Infrastructure Optimization and Scalability Analysis, in: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (73), doi: 10.1109/TIM.2024.3457959.

Morato, A. & **Frigo, G.** & Tramarin, F., Fault simulation in Phasor Measurement Units: A study on system reaction time in a 5G network environment, in: Measurement: Sensors, doi: 10.1016/j.measen.2024.101445.

Morato, A. & **Frigo, G.** & Tramarin, F., Packet Losses Distributions in 5G Networks for PMU-Based Monitoring Systems, doi: 10.1109/I2MTC60896.2024.10560554.

G **Guignard, F.** & Ginsbourger, D. & Levy Häner, L. et al., Some combinatorics of data leakage induced by clusters, in: Stochastic Environmental Research and Risk Assessment (38), doi: 10.1007/s00477-024-02715-1.

H **Hoffmann, J.** & **Morrissey, P.** & **Eckmann, B.** & **Rüfenacht, J.** & **Wollensack, M.** & **Stalder, D.** & **Zeier, M.,** S-Parameters on Printed Circuit Boards for Cryogenic Environment, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10645976.

Hoffmann, J. & **Préville de, S.** & **Eckmann, B.** & **Lin, H.-J.** et al., Comparison of Impedance Matching Networks for Scanning Microwave Microscopy, in: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (73), doi: 10.1109/TIM.2024.3378310.

Callegaro, L. & **Hoffmann, J.** & Huang, N. et al., QuAHMET: Quantum anomalous Hall effect materials and devices for metrology, in: Measurement: Sensors, doi: 10.1016/j.measen.2024.101437.

Karpisz, T. & **Hoffmann, J.** & Evans, S. R. et al., On-Wafer Calibration Comparisons of Multiline TRL With Platinum and Gold Conductors, doi: 10.1109/IMS40175.2024.10600255.

Marzano, M. & **Hoffmann, J.** & Huang, N. et al., QuAHMET: Quantum anomalous Hall effect materials and devices for metrology, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10645997.

Husmann, D. & **Zaugg, S.** & **Morel, J.,** Detection and Analysis of Anthropogenic Patterns in a Phase-Stabilized Optical Fiber Network, doi: 10.1109/eftf61992.2024.10722402.

Dromigny, S. & **Husmann, D.** & Fichtner, A. et al., Seismic noise interferometry for phase transmission fibre optics, doi: 10.48550/ARXIV.2410.17768.

Fichtner, A. & **Husmann, D.** & **Morel, J.** et al., An illustrated guide to: Distributed and integrated fibre-optic sensing in seismology, in: Earthquake Science (38), doi: 10.1016/j.eqs.2024.09.006.

Müller, N. & **Husmann, D.** & **Morel, J.** & Fichtner, A. et al., Earthquake source inversion by integrated fiber-optic sensing, in: Seismica (3), doi: 10.26443/seismica.v3i2.1405.

Huu de, M. & Lochbrunner, M. & **Küng, A.** & Maury, R. et al., Dimensional calibration of small critical flow Venturi nozzles, in: Measurement: Sensors, doi: 10.1016/j.measen.2024.101539.

Böckler, H.-B. & **Huu de, M.** & Maury, R. et al., Metrology infrastructure for high-pressure gas and liquified hydrogen flows. A brief outline of the MetHyInfra project, measurement challenges, and first results, in: Measurement (232), doi: 10.1016/j.measurement.2024.114675.

Wendel, T. & **Huu de, D. M. D.** et al., Euramet RMO supplementary comparison low pressure air flow between 25 m^3/h and 400 m^3/h, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/07004.

I **Iturrate-Garcia, M.** & **Bühlmann, T.** & **Pascale, C.** et al., Accurate, Stable, and SI-Traceable Reference Gas Mixtures of VOCs Relevant for Climate at Atmospheric Levels, doi: 10.1007/978-3-031-47079-0_41.

Hellén, H. & **Iturrate-Garcia, M.,** Tykkä, T. et al., Measurements of atmospheric C_{10}–C_{15} biogenic volatile organic compounds (BVOCs) with sorbent tubes, in: Atmospheric Measurement Techniques (17), doi: 10.5194/amt-17-315-2024.

Lanza, G. & **Iturrate-García, M.** & Küpferling, M. et al., Establishment of good practices for the usage of machine-actionable core metrological terminology, in: Measurement: Sensors, doi: 10.1016/j.measen.2024.101456.

J Haesler, J. & **Jallageas, A.** & **Husmann, D.** & **Morel, J.** et al., Development of a High-Performance and Swiss Based Rolex Timescale System Including a Unique Optical Atomic Clock, doi: 10.1109/EFTF61992.2024.10722272.

K Shang, X. & **Kazemipour, A.** & Gäumann, G. & Hudlička, M. et al., Interlaboratory Comparison of Dielectric Measurements From Microwave to Terahertz Frequencies Using VNA-Based and Optical-Based Methods, in: IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (72), doi: 10.1109/tmtt.2024.3399879.

Shang, X. & **Kazemipour, A.** & Hudlička, M. & Ziade, F. et al., Some Recent Advances in Measurements at Millimeter-Wave and Terahertz Frequencies: Advances in High Frequency Measurements, in: IEEE Microwave Magazine (25), doi: 10.1109/mmm.2023.3321516.

Braccini, S. **Kottler, C.** & **Lüthi, M.** & **Peier, P.** et al., Methodology for measuring photonuclear reaction cross sections with an electron accelerator based on Bayesian analysis, in: Applied Radiation and Isotopes (208), doi: 10.1016/j.apradiso.2024.111275.

Schwerz, C. & **Küng, A.** & Bircher, B. A. et al., Reduction of oxygen content in laser powder bed fusion process atmosphere – Effects on stochastic defect formation and mechanical properties, in: Journal of Materials Research and Technology (30), doi: 10.1016/j.jmrt.2024.04.177.

Schwerz, C. & **Küng, A.** & Riabov, D. et al., Mechanical properties of Hastelloy X produced by laser powder bed fusion and affected by spatter redeposition, in: Journal of Materials Research and Technology (29), doi: 10.1016/j.jmrt.2024.02.150.

L **Lobsiger, S.** & **Umbricht, G.** & **Mallia, S.** & Bilsel, M. et al., PAHs in protein matrix, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/08018.

M Virtanen, V. J. & **Märki, L.** & Galvez, M. E. et al., Sedimentary and metamorphic processes priming black shale for magmatic assimilation of sulfur: an example from the Virginia Formation, Minnesota, United States, in: Mineralium Deposita, doi: 10.1007/s00126-024-01268-1.

Virtanen, V. J. & **Märki, L.** & Galvez, M. E. et al., Publisher Correction to: Sedimentary and metamorphic processes priming black shale for magmatic assimilation of sulfur: an example from the Virginia Formation, Minnesota, United States, in: Mineralium Deposita, doi: 10.1007/s00126-024-01276-1.

Tsiporenko, S. & **Marti, K.,** Bilateral comparison between METAS and Ukrmetrteststandart of mass standards in the range from 1 kg to 10 kg, in: Measurements infrastructure, doi: 10.33955/v7(2024)-056.

Boxman, I. L. & **Moor, D.** & **Butticaz, L.** & Lowther, J. A. et al., An international inter-laboratory study to compare digital PCR with ISO standardized qPCR assays for the detection of norovirus GI and GII in oyster tissue, in: Food Microbiology (120), doi: 10.1016/j.fm.2024.104478.

Edelmann, S. & **Moor, D.** & Lämke, J. et al., Does DNA extraction affect the specificity of a PCR method claiming the specific detectability of a genome-edited plant?, in: GM Crops & Food (15), doi: 10.1080/21645698.2024.2423441.

N Brewer, P. & **Niederhauser, B.** & Norris, J. et al., Guidelines: How to implement the new absorption cross-section for ozone concentration measurements, doi: 10.59161/rapport202403.

Zellweger, C. & **Niederhauser, B.** & Travnicek Wilma & Minkos, A. et al., Change in the value of the UV ozone absorption cross section: Recommendations for metadata provision, doi: 10.59161/rapport202401.

O **Overney, F.** & **Eichenberger, A. L.** & Bauer, S. et al., Longitudinal Impedance Measurements on Graphene QHE Devices, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10645982.

Bauer, S. & **Overney, F.** & **Eichenberger, A. L.** & Kraus, M. et al., Comparison of Josephson Impedance Bridges, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646026.

Marzano, M. & **Overney, F.** & **Eichenberger, A. L.** & Kucera, J. et al., Trilateral Comparison Among Digital and Josephson Impedance Bridges, doi: 10.1109/cpem61406.2024.10646159.

Musioł, K. & **Overney, F.** & Kubiczek, K. et al., Recent Improvements in SUT and METAS 4TP Sampling-Based Digital Impedance Bridges, doi: 10.1109/CPEM61406.2024.10646041.

P Subiel, A. & **Peier, P.** & **Frei, F.** & Gomez, F. et al., Metrology for advanced radiotherapy using particle beams with ultra-high dose rates, in: Physics in Medicine & Biology (69), doi: 10.1088/1361-6560/ad539d.

Şen, O. & **Pythoud, F.** & Harmon, S. et al., EURAMET.EM.RF-S46 (EURAMET Project No 1538) EURAMET supplementary comparison on magnetic field strength measurements for frequencies up to 30 MHz, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/01010.

R Demierre, A.-L. & **Reinhard, H.** & Zeltner, S. et al., Evaluating the efficiency of the 2020 ban of BPA and BPS in thermal papers in Switzerland, in: Regulatory Toxicology and Pharmacology (146), doi: 10.1016/j.yrtph.2023.105526.

Hammer, T. & **Roos, D.** & **Vasilatou, K.,** & Giechaskiel, B. et al., Influence of soot aerosol properties on the counting efficiency of instruments used for the periodic technical inspection of diesel vehicles, in: Aerosol Research (2), doi: 10.5194/ar-2-261-2024.

S Deschermeier, R. & **Senn, R.** & Šestan, D. & Smorgon, D. et al., Comparison in humidity (dew-point temperature high range) dew point temperature +30 °C to 95 °C, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/03008.

Sparasci, F. & **Senn, R.** & Dobre, M. & Pavlasek, P. et al., EURAMET.T-K9 regional key comparison ITS-90 SPRT calibration from the Ar TP to the Zn FP, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/03005.

Shi, Y. & Ruster, T. & Ho, M. & Karlen, S. & Haesler, J. & Treutlein, P., Broad Instantaneous Bandwidth Microwave Spectrum Analyzer with a Microfabricated Atomic Vapor Cell, in: Physical Review X (14), doi: 10.1103/PhysRevX.14.041043.

Celep, M. & **Stalder, D.** et al., Interlaboratory Comparison of Power Measurements at Millimetre- and Sub-Millimetre-Wave Frequencies, in: Metrology (4), doi: 10.3390/metrology4020017.

T **Tas, E.,** Design, Implementation, and Evaluation of Proficiency Testing in EMC Burst Immunity, in: IEEE Access (12), doi: 10.1109/access.2024.3515655.

Trivanovic, U., Synthesis and dynamics of carbonaceous nanoparticles during enclosed spray combustion, doi: 10.3929/ETHZ-B-000683180.

Trivanovic, U. & Pratsinis, S. E., Opinion: Eliminating aircraft soot emissions, in: Aerosol Research (2), doi: 10.5194/ar-2-207-2024.

Trivanovic, U. & Pratsinis, S. E., Trade-off between soot and NO emissions during enclosed spray combustion of jet fuel, in: Scientific Reports (14), doi: 10.1038/s41598-024-73484-8.

Lizonova, D. & **Trivanovic, U.** & Demokritou, P. et al., Dispersion and Dosimetric Challenges of Hydrophobic Carbon-Based Nanoparticles in In Vitro Cellular Studies, in: Nanomaterials (14), doi: 10.3390/nano14070589.

Kelesidis, G. A. & **Trivanovic, U.** & Pratsinis, S. E. et al., Highlights of Analytical Sciences in Switzerland Division of Analytical Sciences A Division of the Swiss Chemical Society, doi: 10.3929/ETHZ-B-000678429.

Kelesidis, G. A. & **Trivanovic, U.** & Pratsinis, S. E. et al., Towards Elimination of Aircraft Soot Emissions: Highlights of Analytical Sciences in Switzerland, in: CHIMIA (78), doi: 10.2533/chimia.2024.351.

Sipkens, T. A. & **Trivanovic, U.** & Nikookar, H. et al., atems: Analysis tools for TEM images of carbonaceous particles, in: Journal of Open Source Software (9), doi: 10.21105/joss.06416.

V Mayer, A. & **Vasilatou, K.** & Engelmann, D. et al., Nanoparticle Counting for PTI – the Dirty Tail Paradigm, doi: 10.21203/rs.3.rs-5186192/v1.

Sjögren, M. P. & **Vasilatou, K.** & Rissler, J. et al., P21-66 Soot particles induce cellular stress, inflammation and remodelling responses in human respiratory cells over time, in: Toxicology Letters (399), doi: 10.1016/j.toxlet.2024.07.790.

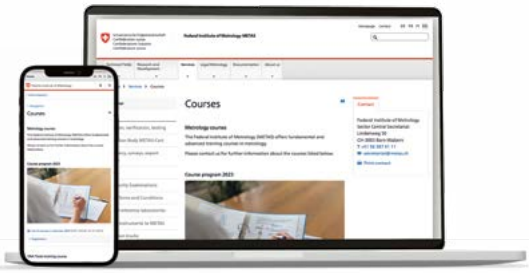
W **Wüthrich, C.** & Guzman, J. T. & Germak, A. et al., Report on the key comparison, CCM.F-K23 in force at 200 N and 500 N, in: Metrologia (61), doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/07010.

Information, Weiterbildung und Kurse

Bereit für neues Wissen?

METaspects

Die Referenz.



www.metas.ch › Dokumentation › METAS-Publikationen

www.metas.ch › Dienstleistungen › Kursangebot

Finden Sie alle METAS-Publikationen an einem zentralen Ort auf der Website des METAS. Sie profitieren von kompakt präsentiertem Wissen rund um das METAS und die Metrologie sowie von regelmässig erscheinenden Periodika wie dem Schweizer Metrologiemagazin «Die Referenz.», den Jahresberichten und den «METaspects».

Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS
Lindenweg 50, 3003 Bern-Wabern, Schweiz
www.metas.ch

Ausgabe Nr. 860575123