Die Referenz.

Das Schweizer Metrologiemagazin

Nr. 01 | 2024

Seite 30 →

Nationale Referenzlabore für gentechnisch veränderte Organismen und durch Lebensmittel übertragbare Viren

Seite 14 →

Metrologie für die zweite Quantenrevolution

Seite 25 →

Ermittlungen von Geschwindigkeiten basierend auf Videoaufnahmen

METAS

Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser

Bereits die allerersten Zivilisationen nutzten Masse zur Regelung des Handels. Die moderne Metrologie, die Wissenschaft vom Messen und ihre Anwendung, hat ihren Ursprung im revolutionären Frankreich. Sie ist heute so ausgereift, dass unsere Masse auf fundamentalen Konstanten des Universums basieren und immer neue Anwendungen erlauben.

In den letzten 40 bis 50 Jahren hat die Anwendung von Quantenprinzipien stark zugenommen. Diese Verwendungen werden unsere Welt in den Bereichen Kommunikation, Computer und Sensorik umwälzen. Bereits sind die ersten Auswirkungen spürbar und

Impressum

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

Redaktionsleitung
Xavier Rappo
kommunikation@metas.ch

Redaktionsteam
Sören Fricke
Christian Kottler
Hugo Lehmann
Lena Märki
Jürg Niederhauser

Sprachversionen
DE, FR, EN (online)

Bildnachweis
METAS, Shutterstock (S. 14), OIML (S. 23)

Gestaltung
Casalini Werbeagentur AG
casalini.ch

Copyright
© 2024
Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS, Bern
Der Nachdruck von Artikeln ist mit Quellenangabe gestattet. Bitte schicken Sie ein Belegexemplar an die Redaktionsadresse.

Auflage
2500 Exemplare deutsch
900 Exemplare französisch
Englisch online

Druck
Galledia Print AG, Flawil
galledia.ch

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

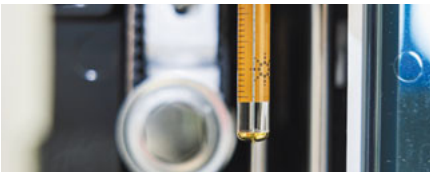
Titelseite
Rotoren der Real-Time-PCR-Geräte im Biologielabor des METAS.

FSC www.fsc.org MIX Papier | Fördert gute Waldnutzung FSC® C011710

Druckprodukt mit finanziellem Klimabeitrag ClimatePartner.com/53173-2405-1004

Inhalt

4 Neuer Marker für die Steuerkennzeichnung von Heizöl

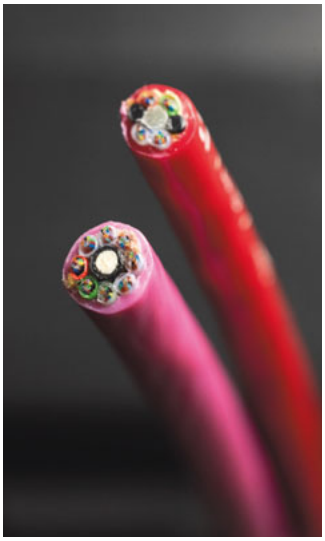


12 In Kürze

Besuch des Bundesrates

14 Metrologie für die zweite Quantenrevolution

8 Optische Frequenzverteilung für die Erdbebenforschung



wir als nationales Metrologieinstitut müssen darauf vorbereitet sein. Deshalb wollen wir ein Kompetenzzentrum für Quantenmetrologie etablieren (Seite 14).

Parallel zur Quantenwelt entwickeln sich andere Gebiete der Metrologie weiter. In der Chemie wurde europaweit ein sichererer Steuermarker eingeführt, welcher einen neuen analytischen Ansatz erfordert (Seite 4). Im Bereich der Lebensmittelsicherheit müssen die Nationalen Referenzlabore für gentechnisch veränderte Organismen in Lebensmitteln sowie durch Lebensmittel übertragbare Viren die neuesten Analyse- und Nachweismethoden kennen und anwenden, um die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften überprüfen zu können (Seite 30).

Ich hoffe, dass diese Ausgabe für Sie interessant ist, und wünsche Ihnen eine aufschlussreiche Lektüre.

Dr. Hanspeter Andres
Stellvertretender Direktor und Abteilungsleiter
Chemie und Biologie
Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS

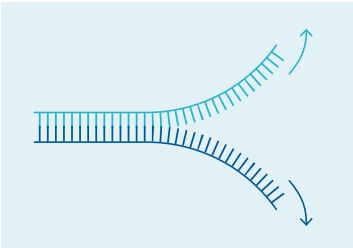
19 **Objekt**

20 **Interview mit Dr. Bobjoseph Mathew**

«Ein grosses Interesse an der Funktion des Präsidenten und an der gesetzlichen Metrologie sind unerlässlich.»

25 **Ermittlungen von Geschwindigkeiten basierend auf Videoaufnahmen**

30 **Nationale Referenzlabore für gentechnisch veränderte Organismen und durch Lebensmittel übertragbare Viren**



Dienstleistung

Einführung einer Analytik für den neuen Markierstoff zur steuerlichen Kennzeichnung von Heizöl

Dem Heizöl, das geringer besteuert wird als Diesel, wird zur steuerlichen Kennzeichnung ein Markierstoff hinzugefügt. Seit 2022 wird in Europa und seit 2024 in der Schweiz der bis dahin verwendete Markierstoff zur steuerlichen Kennzeichnung Solvent Yellow 124 nach und nach durch einen neuen Markierstoff ersetzt. Dieser schützt besser vor eventuellem mit bedeutenden Steuerverlusten verbundenem Betrug. Die Einführung dieses neuen Markierstoffs erfordert auch einen neuen analytischen Ansatz, um effiziente Kontrollen durchführen zu können.

Dr. Patrick Schüpfer

Heizöl und Diesel haben dieselben Eigenschaften, werden aber nicht in gleicher Weise besteuert. Denn die Mineralölsteuer ist je nach Produkt und seiner Verwendung (Treibstoff, Brennstoff, technische Nutzung) unterschiedlich. Es werden nämlich Steuererleichterungen für (extraleichtes) Heizöl gewährt, bei dem sich die Steuer auf CHF 3.00 pro 1000 Liter beläuft, während sie bei Diesel CHF 795.70 beträgt. Für Betrügerinnen und Betrüger besteht daher ein starker Anreiz, Heizöl als Treibstoff zu verwenden. Ein solcher Betrug kann einen bedeutenden Einnahmeverlust für die Schweizerische Eidgenossenschaft darstellen (im Jahr 2022 machte die Mineralölsteuer 7,6 % der Einnahmen des Bundes aus). Deshalb wird Heizöl mit einem Farb- und Markierstoff versehen. Der Farbstoff hinterlässt beständige und leicht erkennbare Spuren in den Motoren und den Abgasanlagen, was die Kontrollen bei betrügerischer Verwendung erleichtert. Durch den Markierstoff lässt sich kontrollieren, ob ein Treibstoff unrechtmässig Heizöl enthält.

Einführung eines neuen Markierstoffs in der Europäischen Union

Seit August 2002 ist Solvent Yellow 124 oder abgekürzt SY124 eine eingetragene Marke des Unternehmens BASF und wurde als Markierstoff innerhalb der Europäischen Union (EU) verwendet (auch

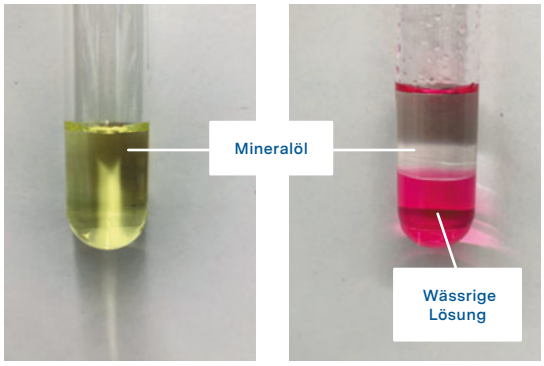


Abb. 1: Behandlung eines mit Solvent Yellow 124 (SY124) gekennzeichneten Mineralöls (links) mit einer wässrigen Salzsäurelösung (rechts).

Euromarker genannt). Hierbei handelt es sich um einen gelben Azofarbstoff, dessen chemische Bezeichnung N-Ethyl-N-(2-(1-(2-methylpropoxy)ethoxy)-ethyl)-4-[(E)-phenyldiazenyl]anilin lautet. Wenn er in Mineralöl enthalten ist, lässt er sich mithilfe einer wässrigen Salzsäurelösung (HCl[aq]) extrahieren. Das lösliche neutrale gelbe Molekül im Mineralöl verwandelt sich dann in ein feuerrotes lösliches Produkt in wässriger Phase (siehe Abb. 1).[1]

Einerseits hat diese Eigenschaft von SY124 den Vorteil, dass ein einfacher und schneller visueller Test durch Extraktion aus einer kleinen Menge Mineralöl mithilfe von HCl(aq) möglich ist. (Bereits geringe Zusätze von 2 bis 3 % können nachgewiesen werden.) Andererseits ermöglicht dasselbe Verfahren Betrügerinnen und Betrügern, den Markierstoff SY124 zur steuerlichen Kennzeichnung aus dem Heizöl zu extrahieren, um es dann als Treibstoff zu verwenden.

Der Betrug mit Treibstoffen verursacht in der EU jedes Jahr Verluste von EUR 7 bis 10 Mia. an entgangenen Steuern.[2] 2015 hat die Europäische Union eine öffentliche Ausschreibung für den Ersatz von SY124 durch einen neuen und sichereren Euromarker organisiert, der illegalen Extraktionsmethoden besser standhält. Nach intensiven Tests mit vier Kandidaten[3] fiel die Wahl letztlich auf den von Dow (USA) hergestellten ACCUTRACE™ Plus Fuel Marker, der 76 % Butoxybenzol (Markierstoff) in einem Lösungsmittel (Destillate aus einer Erdölfraktion) enthält. Am 14. Februar 2022 hat die Europäische Kommission ACCUTRACE™ Plus als neuen Euromarker festgelegt und einen Übergangszeitraum bis zum 18. Januar 2024 eingeräumt. Während dieses Übergangszeitraums von 24 Monaten waren der alte und der neue Euromarker zugelassen. Seit dem 18. Januar 2024 ist nur noch ACCUTRACE™ Plus für die Kennzeichnung von Heizöl mit Konzentrationen zwischen 12,50 und 18,75 Gramm pro 1000 Liter zugelassen (was einem Kennzeichnungsniveau von 9,5 bis 14,25 Gramm Butoxybenzol pro 1000 Liter entspricht).[4]

Farb- und Markierstoff in der Schweiz

Der Farb- und der Markierstoff werden in der Schweiz in Artikel 90 im Kapitel 7 der Mineralölsteuerverordnung (MinöStV) festgelegt.[5] Bis Ende 2023 durfte extraleichtes Heizöl als einzigen Markierstoff SY124 in einer Konzentration zwischen 6,0 und 9,0 Gramm pro 1000 Liter bei 15 °C enthalten.

Nach der Einführung des neuen Euromarkers ACCUTRACE™ Plus in der EU hat der Bundesrat mit einem Beschluss vom 25. Oktober 2023 angeordnet, für die steuerliche Kennzeichnung von extraleichtem Heizöl ab 2024 ebenfalls Butoxybenzol zu verwenden. SY124 bleibt allerdings in der Schweiz bis auf Weiteres zugelassen, um die Nutzung von extraleichtem Heizöl aus den Pflichtlagern zu ermöglichen. Gemäss der MinöStV (Stand 1. Januar 2024) besteht somit auch die Möglichkeit, Butoxybenzol mit einer Konzentration von 9,5 bis 14,25 Gramm auf 1000 Liter bei 15 °C zu verwenden.

Analyse

Die Erkennung und Quantifizierung von SY124 erfolgt per Hochleistungsflüssigkeitschromatografie (HPLC, High Performance Liquid Chromatography). Diese Technik eignet sich sehr gut für wenig volatile Substanzen wie SY124 mit einem geschätzten Siedepunkt bei etwa 591 °C. Diese Analysemethode lässt sich bei dem neuen Markierstoff (Butoxybenzol) leider nur schwer anwenden. Der Nachweis und die Quantifizierung dieses Stoffes in Mineralölen setzten eine anspruchsvollere Technik voraus. Mineralöle bestehen aus sehr komplexen Strukturen aus Hunderten von Molekülen.

Das von dem Unternehmen Agilent Technologies in Partnerschaft mit Dow Chemicals entwickelte Verfahren nutzt zweidimensionale Gaschromatografie (2D-GC, Two-Dimensional Gas Chromatography) in Verbindung mit einem Massendetektor (MSD) und Agilents «Capillary Flow Technology» (CFT) für die Flusskontrolle. Der MSD ist so eingestellt, dass er die spezifischen Ionen von Butoxybenzol (Massen 94 und 150) misst. Die Vorteile dieser Technik sind eine bessere Auflösung der chromatografischen Peaks sowie eine Verbesserung der Sensitivität und der Spezifität. Zudem bietet dieses Verfahren den grossen Vorteil, dass keine Probe vorbereitet werden muss.

Das Gerät besteht aus einem Ofen mit variabler Temperatur, in dem sich zwei Kapillar-Chromatografiesäulen (GC-Säulen) – eine unpolare und eine polare – befinden, die eine Trennung der Kohlenwasserstoffe der Mischung und der Markierstoffverbindung ermöglichen. Eine elektronische Druckregelung (EPC), das sogenannte Pneumatikschaltmodul (PSD), ermöglicht, die Konfiguration des Stroms durch die GC-Säulen zu ändern.

Technisch gesehen wird die Probe (1 Mikroliter) ohne vorherige Vorbereitung direkt in den Injektor eingeführt, dessen hohe Temperatur (250 °C) das Verdampfen der Probe ermöglicht. Diese wird dann im gasförmigen Zustand vom Strom eines Trägergases durch eine erste (unpolare) GC-Säule befördert, unter Anwendung eines Drucks von 14 psi im Injektor. Die Temperatur des Ofens wird allmählich erhöht, um die Säule zu erhitzen und hierdurch für eine erste Trennung der Bestandteile der Mischung zu sorgen. Die Instrumentalanalyse erfolgt dann in vier Schritten:

Schritt 1:

Zunächst ist das System gemäss der Konfiguration C1 eingestellt (siehe Abb. 2): Die Aufrechterhaltung des Drucks des PSD bei 9 psi und der Position des Dean-Schalters auf «no cut» ermöglichen, den Strom über eine Drossel zum Flammenionisationsdetektor (FID) zu leiten. Die Drossel besteht aus einer inerten Säule mit geringem Innendurchmesser (0,1 mm), um den Gasstrom einzuschränken.

Schritt 2:

Kurz bevor das Butoxybenzol (Markierstoffverbindung) die erste Säule passiert hat, wird der Dean-Schalter auf «cut» positioniert (siehe Abb. 4, Konfiguration C2): Der Strom vom Injektor (grüne Pfeile) wird dann zu einer zweiten Säule (dem sogenannten «heart-cut») umgeleitet, um eine zusätzliche Trennung vorzunehmen.

Das Butoxybenzol wird dann vom MSD erkannt. Man erhält ein Chromatogramm mit einem perfekt aufgelösten Signal des Butoxybenzols (siehe Abb. 5). Die Quantifizierung erfolgt somit relativ mühelos durch Injektion von Standardlösungen, die bekannte Butoxybenzol-Konzentrationen enthalten. Es gelangt kein Strom zum FID, was zu einem flachen Signal im Chromatogramm des FID führt (siehe Abb. 3).

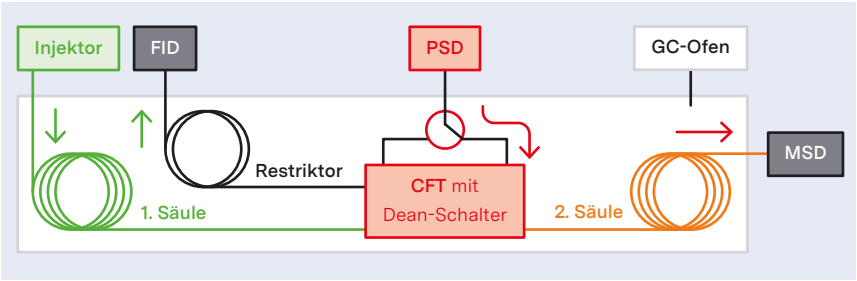


Abb. 2: Konfiguration des Stroms C1: Der gesamte Strom wird zum Flammenionisationsdetektor (FID) geleitet.

Bei der Konfiguration C1 werden die beim Durchgang durch die erste (unpolare) Säule getrennten Bestandteile vom FID als chromatografische Peaks nachgewiesen (siehe Abb. 3).

Schritt 3:

Das System ist erneut gemäss der Konfiguration C1 mit dem auf «no cut» positionierten Dean-Schalter eingestellt (siehe Abb. 2). Dies ermöglicht, die schwereren Bestandteile sichtbar zu machen, die nach dem Heart-Cut aus der ersten Säule austreten.

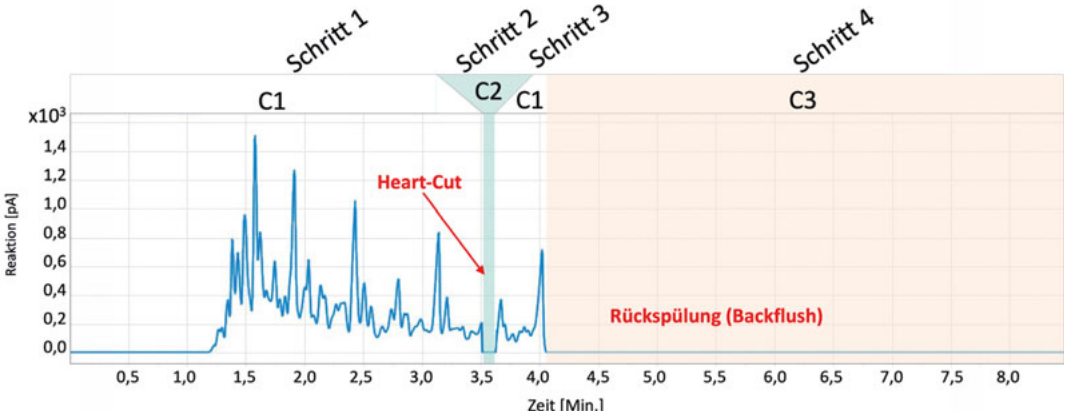


Abb. 3: Chromatografisches Signal, das der FID im Laufe der 4 Schritte liefert. Bei Schritt 2 und 4 wird der aus der 1. Säule kommende Strom an den MS-Detektor (C2) bzw. an die 1. Säule (Rückspülung, C3) geleitet, sodass das Chromatogramm keinen Peak enthält.

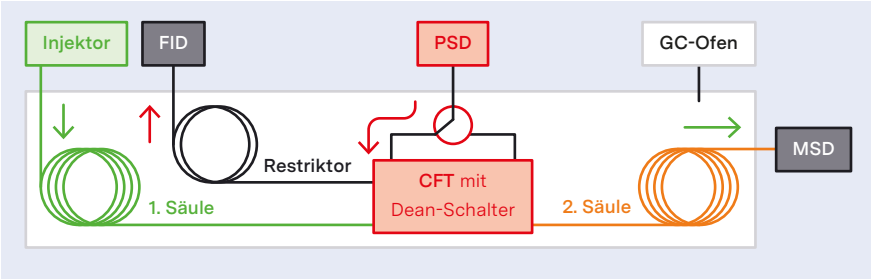


Abb. 4: Konfiguration des Stroms C2: Der Strom wird zum MSD geleitet.

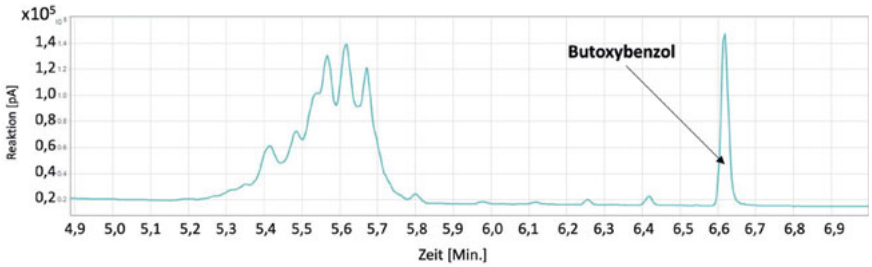


Abb. 5: Chromatografisches Signal, das der MSD liefert (für die Massen 94 und 150 gemessener Ionenstrom). Die zusätzliche Trennung entlang der zweiten Säule ermöglicht es, einen perfekt aufgelösten chromatografischen Peak des Butoxybenzols zu erhalten.

Das METAS im Dienste des Zolls

Für die Erhebung von Zöllen und Abgaben ist das Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit (BAZG) zuständig. Als Steuerverwaltung kann das BAZG Mineralölproben zu Kontrollzwecken entnehmen. Der Fachbereich «Chemische Prüfungen und Beratungen» des METAS führt die Analysen für die schweizerischen Zollbehörden durch. Er nimmt insbesondere die Analysen der entnommenen Mineralölproben in Bezug auf den Markierstoff für die steuerliche Kennzeichnung vor.
Das Labor besitzt seit Ende April 2023 ein System GCxGC-MS für die Analyse der neuen Markierstoffverbindung (Butoxybenzol) in Mineralölen.

Schritt 4:

Bevor die Verbindungen der Probe mit hohem Siedepunkt (schwer) die erste Säule verlassen, wird der Druck des Trägergases im Injektor von 14 psi auf 1 psi reduziert, während im PSD ein Druck von 9 psi aufrechterhalten wird (siehe Abb. 6): Der Fluss wird dann zurück zum Injektor umgeleitet («backflush») und die zweite Säule und der MSD können nicht verschmutzt werden.

Validierung des Analyseverfahrens

Im Sommer 2023 hat das europäische Netzwerk zolltechnischer Prüfungsanstalten (CLEN, Customs Laboratories European Network) einen laborübergreifenden Test mit 11 Proben mit Kennzeichnungsniveaus von 1 % bis 150 % mit verschiedenen Matrizen (Diesel B0, Diesel B7, Diesel B10, Gasöl mit HVO, Kerosin, Designerkraftstoff) organisiert. Daran nahmen 55 Prüfungsanstalten aus ganz Europa teil, darunter auch der Fachbereich «Chemische Prüfungen und Beratungen» des METAS. Dieser laborübergreifende Test hat hervorragende Ergebnisse geliefert, die zeigen, dass diese Technologie gut beherrscht wird. Zugleich wurde damit das für die Quantifizierung des neuen Euromarkers entwickelte Analyseverfahren validiert. Die Validierung sowie die Anwendung dieses neuen Analyseverfahrens durch das METAS und die anderen europäischen Metrologieinstitute ermöglichen, den Steuerbetrug bei Mineralölen einzudämmen und ihre gerechte Besteuerung zu gewährleisten.

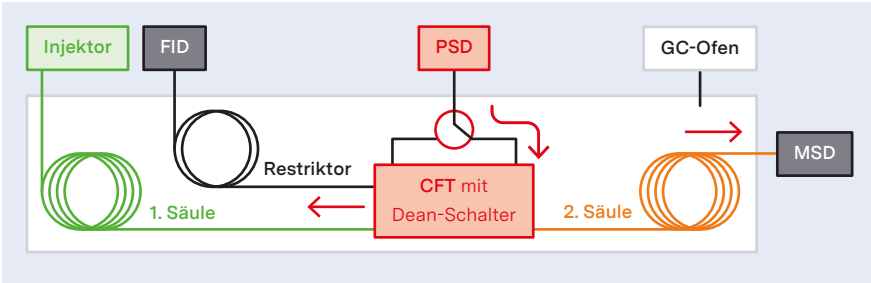
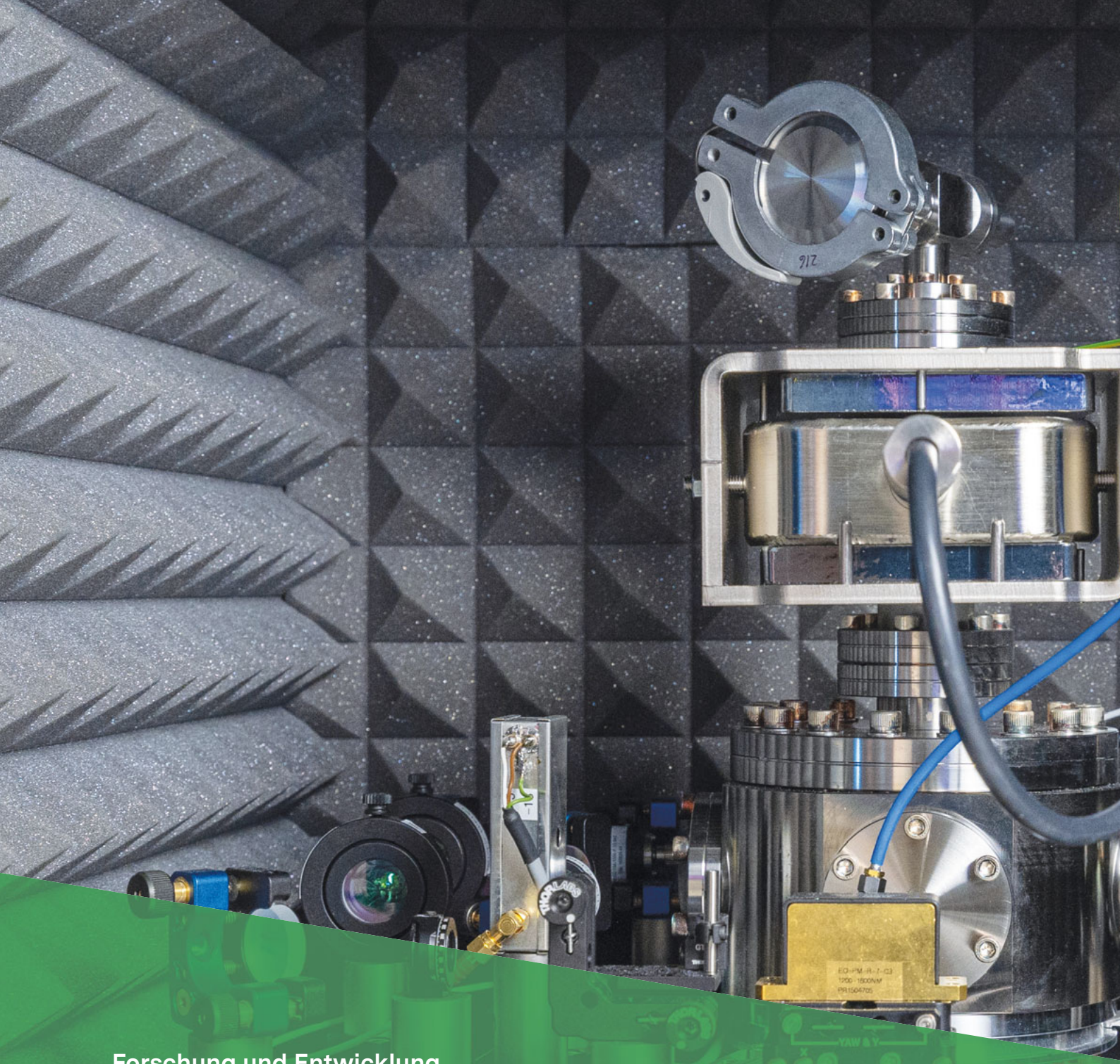


Abb. 6: Konfiguration des Stroms C3: Der Strom wird in die erste Säule zum Injektor zurückgeleitet (Rückspülung oder «Backflush»), indem der Druck des Injektors von 14 psi auf 1 psi gesenkt wird.

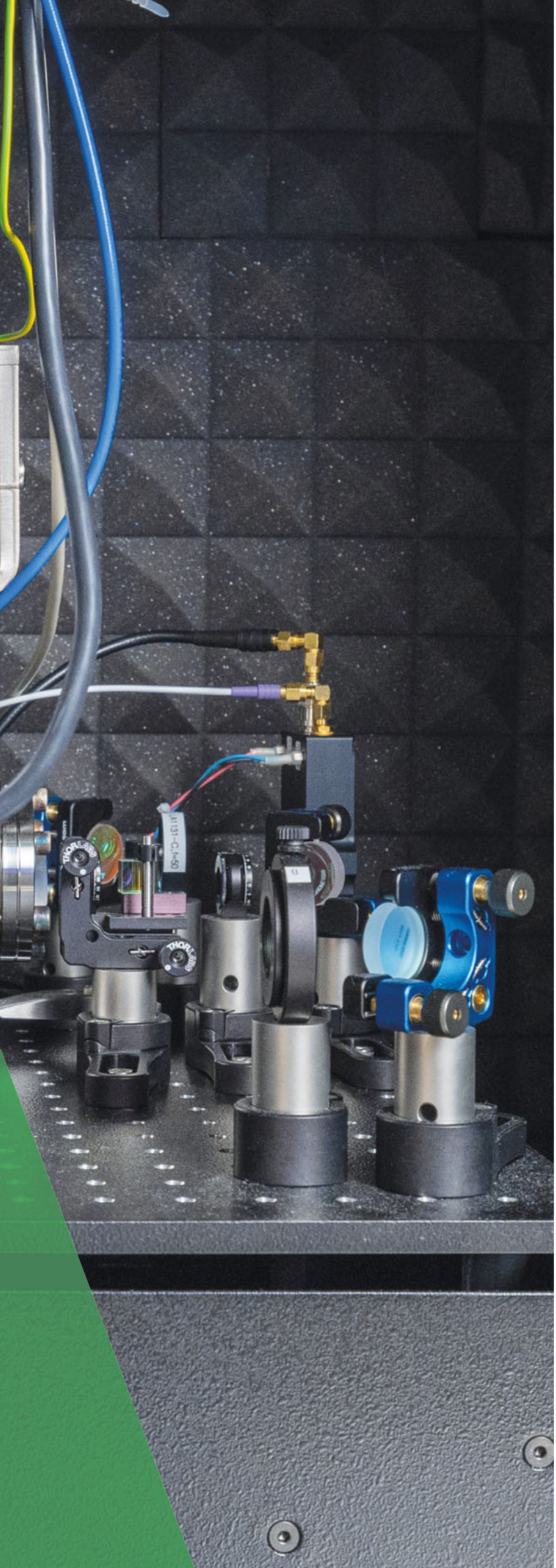
1 Grzegorz Zadora, «Laundering of ‹Illegal› Fuels – a Forensic Chemistry Perspective», Acta Chim. Slov. 2007, 54, 110–113
2 Ecorys (2019): Study on the estimated economic implications of fuel laundering & wider fuel fraud in the EU
3 European Commission «Evaluation of the Performance of the Short-Listed Candidate Markers Regarding the Technical Requirements» JRC Technical Reports, Public Version, 2017
4 DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS (EU) 2022/197 DER KOMMISSION vom 17. Januar 2022, bekannt gegeben unter dem Aktenzeichen C (2022) 74 im Amtsblatt der Europäischen Union
5 641.611 Mineralölsteuerverordnung (MinöStV)



Forschung und Entwicklung

Optische Frequenzverteilung für die Erdbebenforschung

Die Verbreitung von Referenzfrequenzen über das Glasfasernetz kann für positive Überraschungen sorgen. Durch die Unterdrückung des Rauschens der optischen Signale kann das Glasfasernetz eine zweite Funktion erfüllen, um Erdbeben zu detektieren. Diese Erfahrung wurde vom Labor für Photonik, Zeit und Frequenz des METAS zusammen mit einer Forschungsgruppe der ETH Zürich gemacht.



Dr. Dominik Husmann, Dr. Jacques Morel

Eine Kernaufgabe des Labors für Photonik, Zeit und Frequenz sind die Realisierung und die Verbreitung von ultrapräzisen und stabilen Referenzfrequenzen und Zeitsignalen. Dies geschieht mithilfe eines Ensembles von Atomuhren, welche kontinuierlich untereinander, national und international verglichen werden. Basierend auf diesen Vergleichen realisiert das METAS die offizielle Schweizer Zeit UTC (CH) und liefert einen Beitrag zur Realisierung der universalen koordinierten Zeit UTC.

Dank dieser Anordnung verfügt das METAS über SI-rückführbare Zeit- und Frequenzsignale. Diese sind für eine Vielzahl an Benutzern wichtig wie Hersteller von Zeit- und Frequenzmessgeräten, die Uhrenindustrie, Betreiber von Navigationssystemen, die Börse, aber auch die Grundlagenforschung, zum Beispiel im Bereich Präzisionsspektroskopie. Eine grosse Herausforderung besteht dabei darin, wie man die ultrapräzisen und stabilen Signale aus den Laboren am METAS hin zu den Benutzern bringen kann – insbesondere ohne die Präzision durch die Verbreitung (Dissemination) zu beeinträchtigen.

Methoden der Frequenzverteilung

Die traditionelle Methode ist, dass die Benutzer ihre Geräte in die METAS-Labore bringen, um sie lokal beim METAS gegen unsere Zeit- und Frequenzskalen zu referenzieren. Auch der umgekehrte Weg wird bereits praktiziert, dass das METAS eine mobile Atomuhr zum Benutzer bringt und die Messvergleiche lokal durchführt. Dies ist für viele Anwendungen genügend, erlaubt aber natürlich nur punktuelle – nicht kontinuierliche – Vergleiche. Satellitentechnologie-basierte Methoden (GNSS) erlauben zwar kontinuierliche Vergleiche, sind aber empfindlich für eine Degradierung des Signals aufgrund von Störungen in der Übertragungsstrecke wie natürliche wetterbedingte Fluktuationen in der Atmosphäre oder auch mutwillige Interferenzen durch Störsignale, das sogenannte Spoofing.

Für State-of-the-Art-Referenzfrequenzen – wie sie etwa in der Präzisionsspektroskopie in Forschungslaboren verwendet werden – sind diese Methoden deshalb ungenügend. Hier hat sich in den letzten Jahren eine neue Methode der Verteilung basierend auf optischen Frequenzen in Glasfaser-Netzwerken etabliert. Dazu werden die Referenzfrequenzen der Atomuhren am METAS mittels eines Frequenz-

kamms – einer speziellen Lasertechnologie – in optische Frequenzen konvertiert. Diese optischen Signale werden dann in ein herkömmliches Glasfasernetz eingespeist und zum Benutzer gesendet. Heute verbindet ein solches Frequenz-Glasfasernetz das METAS mit der Universität Basel und der ETH Zürich. Die dazu verwendete Glasfaser-Infrastruktur wird von der Stiftung Switch zur Verfügung gestellt.

Glasfasern sind sensitive Sensoren

Wie bei den Satelliten stellt auch hier die Übertragungsstrecke der Glasfaser eine Quelle für Störungen dar. Denn Glasfasern sind formidable Universalsensoren und sensitiv auf äusserliche Einflüsse wie Temperaturschwankungen und Erschütterungen. Solche Störungen werden direkt auf die darin propagierenden Signale geprägt. Für die Frequenzmetrologie ist dies ein Problem, da es die Genauigkeit der Frequenz beeinträchtigt, und bedingt eine komplexe Rauschunterdrückung. Dabei wird in einem komplexen optischen Aufbau das Umgebungsrauschen in der Glasfaser gemessen und kompensiert, indem entgegengesetztes Antirauschen generiert wird. Dies ist konzeptuell vergleichbar mit der Rauschunterdrückung in modernen Kopfhörern.

Nun stellt sich heraus, dass dieses Antirauschen wertvolle Informationen zu verschiedensten Umgebungseffekten enthält: Variationen in der Umgebungstemperatur, von Menschen verursachte Erschütterungen, und auch seismische Ereignisse führen zu messbaren Deformationen der Glasfaser. So am 10. September 2022, als sich ein Erdbeben der Stärke 3,9 auf der Richterskala in der Region Mulhouse ereignet hatte. Dieses Erdbeben wurde auf einer 123 km langen Glasfaser zwischen dem METAS in Wabern und der Universität Basel detektiert (siehe Abb. 1). Die individuellen Erdbebenwellen sind in Abbildung 2 als deutliche Auslenkungen der Ruheposition der Rausch-Basislinie sichtbar.

Diese Beobachtung war ein Ausgangspunkt für eine Zusammenarbeit mit Prof. Andreas Fichtner der ETHZ und seiner Forschungsgruppe für Seismologie und Wellenphysik, welche darauf spezialisiert sind, die Ausbreitung und Wirkung von Erdbebenwellen auf der Erdoberfläche zu berechnen und zu modellieren.

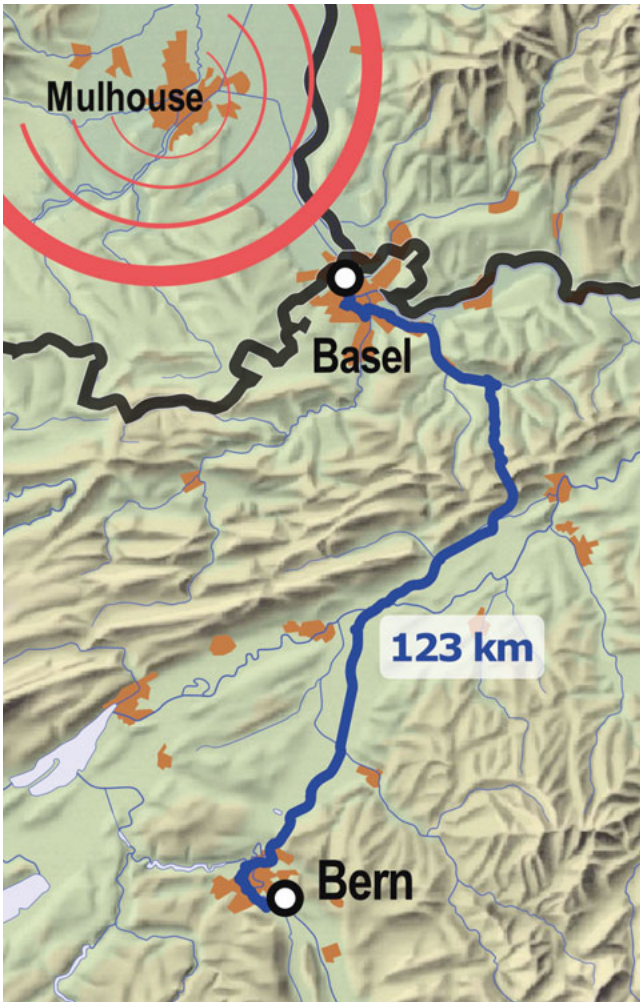


Abb. 1: Verlauf der Glasfaserstrecke zwischen dem METAS in Wabern und der Universität Basel sowie ungefähres Epizentrum des Erdbebens in Mulhouse.

Interpretation und Modellierung des Signals

Eine grosse Herausforderung besteht darin, das von der Glasfaser aufgezeichnete Signal sinnvoll zu interpretieren und zu modellieren. Dies ist schwierig, da durch die Natur der Messung das aufgezeichnete Signal über die Länge der gesamten Glasfaser aufsummiert wird. Eine örtliche Auflösung, wie sie bei anderen glasfaserbasierten Methoden wie Distributed Acoustic Sensing (DAS) vorhanden ist, ist hier nicht gegeben. Beispielsweise kann ein Teil der Glasfaser zu einem bestimmten Zeitpunkt gestreckt werden, während ein anderer Teil gleichzeitig gestaucht wird. Die beiden Effekte können sich gegenseitig aufheben zu einer Netto-Null-Summe. Um den Netto-Effekt von Erdbebenwellen auf das beobachtete Signal in der Glasfaser verstehen und mit der Beobachtung vergleichen zu können, muss deshalb die Auslenkung entlang der gesamten Länge der Glasfaser aufsummiert werden.

Glasfasern ermöglichen eine präzise und genaue Übertragung von Frequenzen über Distanzen von Hunderten Kilometern.

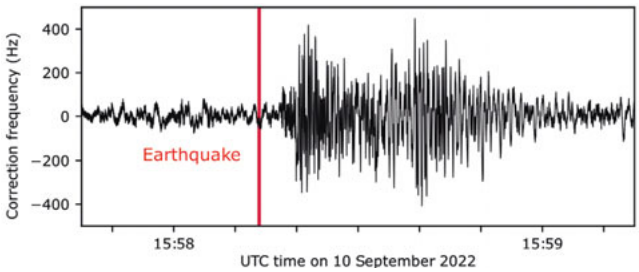


Abb. 2: Signal des Erdbebens, detektiert auf der Glasfaserstrecke. Wenige Sekunden nach dem Ereignis treffen die ersten Wellen auf der Glasfaser an.

Im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen dem METAS und der ETH ist es gelungen, die Beobachtung des Erdbebens auf dem Glasfasernetz mit erstaunlicher Übereinstimmung zu modellieren. Dazu verwendeten die Seismologen bekannte Daten, um die Ausbreitung der Erdbebenwellen in der geografischen Region unserer Glasfaser zu modellieren. Dabei wurden Daten von herkömmlichen seismischen Messstationen als Referenz zur Verifikation des Modells verwendet. In einem nächsten Schritt wurde die Glasfaserstrecke in viele kurze Segmente unterteilt, und für jedes Segment einzeln die durch die Erdbebenwellen verursachte Deformation berechnet. Im Anschluss wurden sämtliche Beiträge der einzelnen Segmente aufsummiert, um das Netto-Signal der Glasfaser zu erhalten. Dieses wurde dann mit der Messung auf der Glasfaser verglichen. Das Ergebnis zeigte eine hohe Übereinstimmung sowohl in der Ankunftszeit der Erdbebenwellen als auch in der Amplitude der beobachteten Deformation. Diese Demonstration quantitativer Übereinstimmung von Modell und Beobachtung qualifiziert das Frequenzdisseminationssystem des METAS als unkonventionellen Seismometer mit dem Potenzial, Erkenntnisse komplementär zu den konventionellen seismischen Methoden zu liefern.

Glasfasernetzwerke können als seismische Sensoren genutzt werden

Die genaue Detektion, und die damit verbundene Charakterisierung und Frühwarnung, von Erdbeben bedarf einer grossflächigen und möglichst dichten geografischen Abdeckung durch seismische Sensoren. Dies ist kostspielig und je nach Umweltbeschaffenheit schwer realisierbar. Die Kollaboration des Labors für Photonik, Zeit und Frequenz mit der Gruppe für Seismologie und Wellenphysik der ETHZ hat nun demonstriert, wie in der Metrologie gebräuchliche Glasfasernetzwerke zur ultrapräzisen Frequenzdissemination als eben solche seismischen Sensoren genutzt werden können. Damit können neue Informationen komplementär zu existierenden Sensornetzwerken gewonnen werden, was wiederum helfen kann, Erdmodelle zu verfeinern.

Die Resultate dieser Zusammenarbeit wurden im Fachjournal Scientific Reports veröffentlicht[1] und versprechen neue Perspektiven zum Einsatz optischer Glasfasernetzwerke in der Seismologie.

1 S. Noe, D. Husmann, N. Müller, J. Morel and A. Fichtner, «Long-range fiber-optic earthquake sensing by active phase noise cancellation», Scientific Reports, 13, Article Number 13983 (2023)

Mitarbeiter des METAS wird als engagierter internationaler Experte geehrt

Dr. Volker Zeuner, Experte Datensicherheitsprüfung am METAS, wurde 2023 mit dem IEC-1906-Award für das Einbringen seiner Erfahrung zur Cybersicherheit in die Standardisierung von Messgeräten für die Leistungs- und Power-Quality-Messungen und die Datensammlung und -analyse ausgezeichnet. Jedes Jahr ehrt die International Electrotechnical Commission (IEC) nur 160 ihrer 20 000 weltweiten Normexperten und -expertinnen mit diesem Award.

Das METAS weitet seine Beteiligung am Europäischen Metrologienetzwerk aus

Das METAS hat sich dem Europäischen Metrologienetzwerk für Energiegase (European Metrology Network for Energy Gases) angeschlossen. Dieses Netzwerk stellt der Gesellschaft und der Industrie seine Kompetenzen im Bereich Metrologie zur Verfügung, um die Energiewende in Richtung erneuerbarer gasförmiger Brennstoffe zu unterstützen. Das METAS ist besonders aktiv im Bereich der Messung von Wasserstoffdurchfluss und kann somit von einer besseren Wahrnehmung auf europäischer Ebene profitieren.

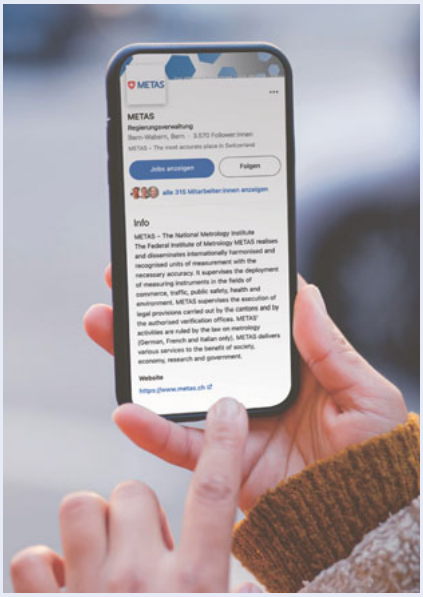
Renovation der Ulbrichtkugel

Das METAS besitzt im Labor Optik eine Ulbrichtkugel vom Baujahr 1965 mit einem Durchmesser von 4 Metern. Diese ermöglicht eine gleichmässige diffuse Reflexion des Lichts in der Kugel und wird für die Messung des Lichtstroms, der spektralen Verteilung und der Farbwerte verwendet. Um diese Messungen weiterhin optimal durchführen zu können, musste die Kugel renoviert werden. Die Renovation umfasste eine neue Beschichtung der Innenseite mit einer Bariumsulfatfarbe, um einen sehr hohen Reflexionsgrad (>90 %) zu erreichen. Weiter wurden die neusten Messgeräte und eine Fischaugen-Kamera installiert. Darüber hinaus ermöglicht die neue Softwaresteuerung des Messplatzes die automatische Generierung von Messberichten.

World Metrology Day 2024

2024 wird der World Metrology Day am 20. Mai zum ersten Mal offiziell als Internationaler Tag der UNESCO begangen. Dieses Jahr steht der Tag unter dem Motto «Wir messen heute für ein nachhaltiges Morgen». Das METAS beteiligt sich mit diversen Projekten aktiv am Übergang zu einer nachhaltigeren Gesellschaft und Wirtschaft. Beispiele dafür sind die Projekte zur Bestimmung von Torf in Pflanzenerde, zum Phosphorrecycling aus Klärschlamm, aber auch zur Erkennung und Bestimmung von halogenierten, flüchtigen organischen Verbindungen in der Atmosphäre (sogenannte VOCs).

Erfahren Sie mehr auf unserer Website.



Folgen Sie dem METAS auf LinkedIn

Folgen Sie uns auf LinkedIn, um einen Blick hinter die Kulissen des METAS zu werfen, unsere neuesten Informationen zu erhalten und unsere Forschungsaktivitäten zu verfolgen. Sie finden auch die Karrieremöglichkeiten in unserem Institut. Scannen Sie den QR-Code und treten Sie in unsere Welt ein.

Bundesrat Beat Jans zu Besuch am METAS

Am 25. März 2024 hat der neue Vorsteher des EJPD, Bundesrat Beat Jans (rechts im Bild), das METAS besucht. Auf dem Programm standen eine Einführung in die Tätigkeiten des Instituts und der Besuch verschiedener Labore. Der Departementsvorsteher konnte sich mit den Tätigkeiten des METAS auf folgenden Gebieten vertraut machen: gesetzliche Metrologie, Referenzgase für Messungen zur Luftreinhaltung und zum Klimaschutz, Messen von Feinstaub sowie Messen mit Computertomografie. Zum Schluss hatte er die Gelegenheit, ein Grusswort an alle Mitarbeitenden des METAS zu richten und sich mit einigen von ihnen auszutauschen.

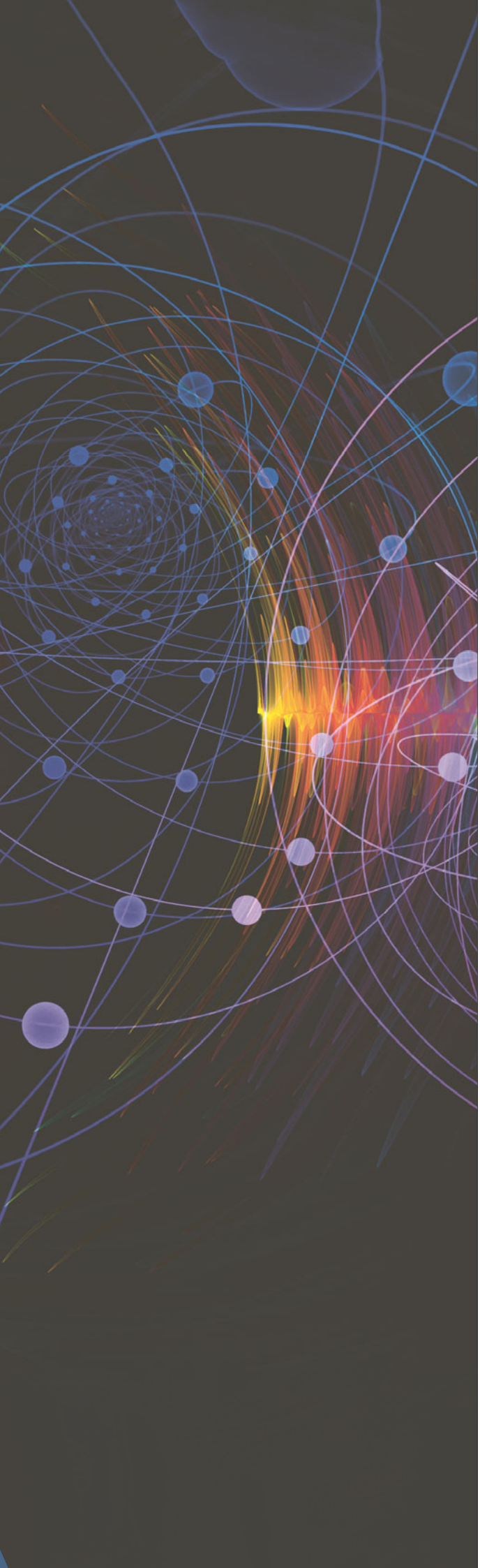
Erfolgreiche Überwachung für das Prüflaboratorium STS 0119

Die Überwachung des METAS-Prüflaboratoriums STS 0119 durch die Schweizerische Akkreditierungsstelle (SAS) ist abgeschlossen. Damit hat die SAS bestätigt, dass das METAS kompetent ist, chemische, physikalische, biologische und sensorische Prüfungen konform zur ISO-Norm 17025 durchzuführen. Mit dieser Überwachung wurde auch bestätigt, dass das ehemalige Prüflaboratorium für biologische Untersuchungen von Lebensmitteln und Futtermitteln des Bundesamts für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) erfolgreich ins METAS integriert wurde. Der um die molekularbiologischen Nachweis- und Bestimmungsverfahren von GVO und Viren erweiterte Geltungsbereich der Akkreditierung des METAS ist genehmigt und auf der Website der SAS publiziert.

Über das METAS

Metrologie für die zweite Quantenrevolution

Die zweite Quantenrevolution ist im vollen Gange. Sie wird unser Leben verändern und zu heute noch unbekannten Anwendungen führen. Darauf müssen sich sowohl die Metrologie als auch die Industrie vorbereiten. Deshalb will das METAS ein Kompetenzzentrum für Quantenmetrologie auf die Beine stellen.



Dr. Hugo Lehmann

Ende des 19. Jahrhunderts war das Verständnis der physikalischen Gesetze schon weit fortgeschritten. Als sich Max Planck als junger Student um 1870 über die Perspektiven eines Physikstudiums erkundigte, wurde ihm gesagt, dass die Physik quasi eine abgeschlossene Wissenschaft sei und folglich wohl keine bahnbrechenden Erkenntnisse mehr zu erwarten seien[1]. Es ist eine ironische Wendung der Geschichte, dass es genau derselbe Max Planck war, der um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert mit seiner Erklärung der Strahlung eines schwarzen Körpers durch quantifizierte Energiezustände den Anstoss für die erste Quantenrevolution der Physik gab.

In den 1920er-Jahren formulierte eine Gruppe von Physikern, darunter Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Paul Dirac und Wolfgang Pauli, die Grundlagen der Quantenmechanik. Diese Theorie ermöglichte es, die Naturphänomene im ganz Kleinen besser zu verstehen. In den folgenden Jahrzehnten wurde diese neue Mechanik so weit entwickelt, dass die Eigenschaften von Atomen, Molekülen, Festkörpern und Strahlung genau beschrieben werden konnten.

Die Tatsache, dass die Modelle der Quantenphysik manchmal kontraintuitiv sind und dass die Natur des unendlich Kleinen ein Verhalten zeigt, welches sich von unserer tagtäglichen Erfahrung unterscheidet, machte auch renommierten Physikern zu schaffen. So hat Albert Einstein noch bis an sein Lebensende mit der Bedeutung der quantenmechanischen Erkenntnisse gehadert. Nicht nur das stochastische Verhalten, sondern auch die «spukhafte» Fernwirkung (im Fachjargon Verschränkung) bereitete ihm Probleme. Erst die Experimente von Alain Aspect, der dafür 2022 mit dem Nobelpreis[2] ausgezeichnet worden ist, haben eindeutig belegen können, dass diese Verschränkung[3] zwar schwer verständlich, aber doch Realität ist.

Während die erste Quantenrevolution zu einem Verständnis der Materie in ihren kleinsten Dimensionen sowie zu indirekten technischen Anwendungen – zum Beispiel in der Halbleitertechnologie – führte, lernten die Physikerinnen und Ingenieure mit der Zeit, die Quanteneigenschaften besser zu kontrollieren und technisch zu nutzen.

So entstand etwa die Quantenkryptografie, die es ermöglicht, prinzipiell abhörsichere Kommunikationsprotokolle zu entwickeln. Durch die Nutzung von Quanteneigenschaften wie etwa des No-Cloning-Theorems kann sichergestellt werden, dass der Übertragungskanal nicht abgehört worden ist. Kombiniert mit klassischen Verschlüsselungsmethoden, können hohe Übertragungsraten erzielt und Daten quantenchiffriert übermittelt werden. Das Fernziel ist das Quanteninternet,

welches uns ein vollkommen sicheres Internet bescheren soll. Dadurch wird die Qualität der übermittelten Information noch nicht verbessert. Doch das ist ein ganz anderes Thema.

Eine andere, neue Anwendung von Quantensystemen ist die Messung von elektromagnetischen Feldern. Dafür nutzt man zum Beispiel Atome mit schwach gebundenen Elektronen, sogenannte Rydberg-Atome. Diese Atome reagieren besonders sensibel auf externe Felder, was zu Veränderungen in ihrem Energiezustand führt, die gemessen werden können[4]. Dies erlaubt in gewissen Frequenzbereichen genauere und empfindlichere Messungen als mit klassischen Methoden. Das sind nur zwei von vielen weiteren Anwendungen, die entwickelt werden.

Diese direkte Nutzung von Quantensystemen in der Technik wird auch als die zweite Quantenrevolution bezeichnet. Sie wird zu noch nie da gewesenen technologischen Möglichkeiten führen und sowohl bedeutende wissenschaftliche Fortschritte als auch neue Geschäftsmöglichkeiten eröffnen. Daher sind die weltweiten Investitionen in die Quantentechnologie im akademischen sowie im industriellen Umfeld gross. Zudem sind die nationalen Quanten-Ökosysteme sehr dynamisch, insbesondere in der Schweiz. Neben den gut aufgestellten Hochschulen sind auch einige Schweizer KMU gut auf dem Weltmarkt positioniert und mehrere Start-ups stehen in den Startlöchern[5].

Schweizer Kompetenzzentrum für Quantenmetrologie

Die neuen Technologien und Methoden, die Quanteneffekte nutzen, müssen jedoch auch charakterisiert und kalibriert werden und auf das Internationale Einheitensystem (SI) zurückgeführt werden können. Dies schafft die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Standardisierung von quantenbasierten Systemen und wird auch das Vertrauen in die Quantentechnologien stärken. Ausserdem könnten gut charakterisierte Quantengeräte für Schweizer Unternehmen auf dem Weltmarkt einen Wettbewerbsvorteil verschaffen und das urschweizerische Präzisions- und Qualitätsparadigma auch in das Quantenzeitalter bringen.

Es muss also sichergestellt werden, dass die Schweizer Quantentechnologieszene Zugang zu einer zweckmässigen Metrologie-Infrastruktur hat. Die Notwendigkeit einer Metrologie-Infrastruktur für Quantentechnologie ist auch von der Europäischen Kommission erkannt worden[6] und erste Aktivitäten sind bereits eingeleitet worden.

Aus all diesen Gründen will das METAS seine Kompetenzen für Quantentechnologien weiterentwickeln. In der Metrologie werden seit annähernd 30 Jahren Quantensysteme als Referenzen benutzt. Solche Systeme stellen auf Naturkonstanten basierte, unverrückbare Massstäbe für verschiedene Einheiten dar. Auf diese Art wird etwa die Einheit Ohm für den elektrischen Widerstand über den Quanten-Hall-Effekt[7] oder das Volt über den Josephson-Effekt realisiert[8]. Auch für die Definition der Sekunde werden schon lange Quanteneffekte hinzugezogen. Atomuhren wie die «Fontaine Continue suisse 2» (FoCs2) am METAS, welche die internationale Zeitskala definieren, nutzen den Grundzustandsübergang von thermisch abgebremsten Cäsiumatomen, um die Frequenz mit Quantengenauigkeit zu bestimmen (quasi eine Art Pendel auf atomarer Ebene)[9]. In Zukunft sollen optische Uhren sogar noch um den Faktor 100 genauer werden[10] und als Sekundenreferenz eingesetzt werden. Die dadurch erreichte höhere Präzision wird viele weitere wissenschaftlich-technische Entwicklungen auslösen. Das METAS ist also gut aufgestellt, um eine Infrastruktur für die Quantenmetrologie aufzubauen und zu unterhalten sowie Forschungskapazitäten und einschlägige Dienstleistungen anzubieten. Andererseits ist es als Schweizer Metrologieinstitut dank seines umfassenden Netzwerks und seiner etablierten Rolle innerhalb der europäischen Metrologie gut positioniert, um die Koordination zwischen den schweizerischen und europäischen Bemühungen zu fördern sowie der Schweizer Industrie zu helfen, mit den Entwicklungen auf dem europäischen Markt kompatibel zu sein.

Der vorgesehene Infrastrukturbedarf für die neuen Bedürfnisse der Quantentechnologie lässt sich in die drei folgenden Themenbereiche einteilen:

- Quantenkommunikation
- Quantencomputer
- Quantensensorik

In den ersten beiden Themenbereichen plant das METAS die Schaffung von Kalibrier- und Charakterisierungskapazitäten für Schlüsselkomponenten der Quantenkommunikationstechnologie wie Quantenkryptografie-Geräte zur Verteilung von Quantenschlüsseln, Single-Photon-Detektoren oder Qubits.

Im dritten Bereich will das METAS die neuen Quantensensorikmethoden zur Messung elektromagnetischer Felder (z. B. Rydberg-Atome oder NV-Zentren[11]) für metrologische Anwendungen nutzen. Der Einsatz dieser Technologien sollte es dem METAS auch ermöglichen, solche Geräte zu charakterisieren und die metrologische Rückverfolgbarkeit für Quantensensoranwendungen zu gewährleisten. Ergänzt mit den klassischen Quantennormalen, ergibt sich für das geplante Kompetenzzentrum Quantenmetrologie des METAS die in Abb. 1 illustrierte Übersicht.

Wo stehen wir heute und wohin soll die Reise führen?

Das Konzept für die Quantenmetrologie am METAS wurde 2023 entwickelt. 2021 waren jedoch bereits erste Abklärungen zu den Möglichkeiten der Quantensensorik gemacht worden. Diese wurden 2022 in einer Zusammenarbeit mit dem Basel Quantum Center[12] der Universität Basel vertieft. Eine Weiterführung dieser Zusammenarbeit ist geplant. Zunächst sollen die Kompetenzen und Technologien für elektrische Feldmessungen exploriert und dann

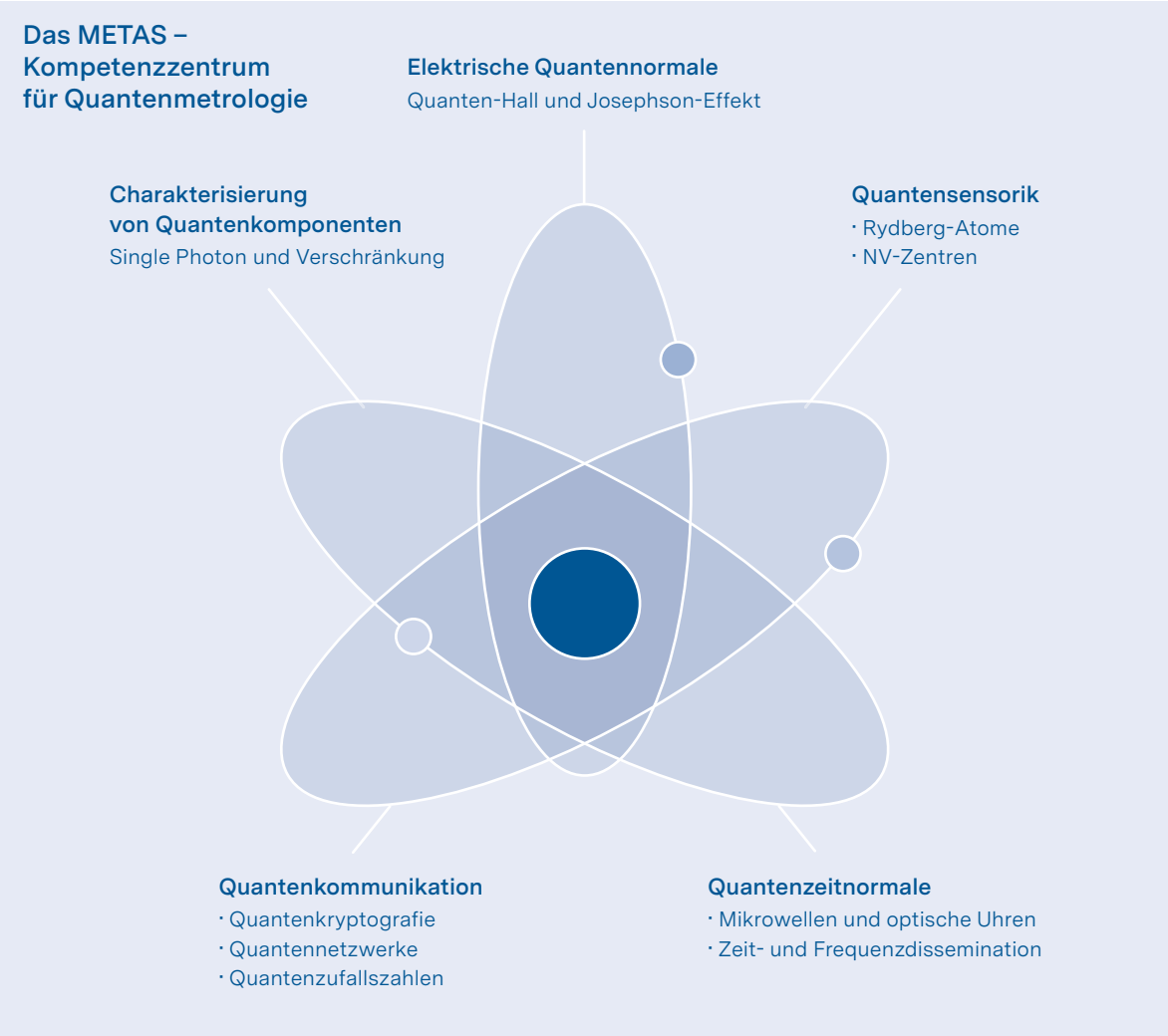
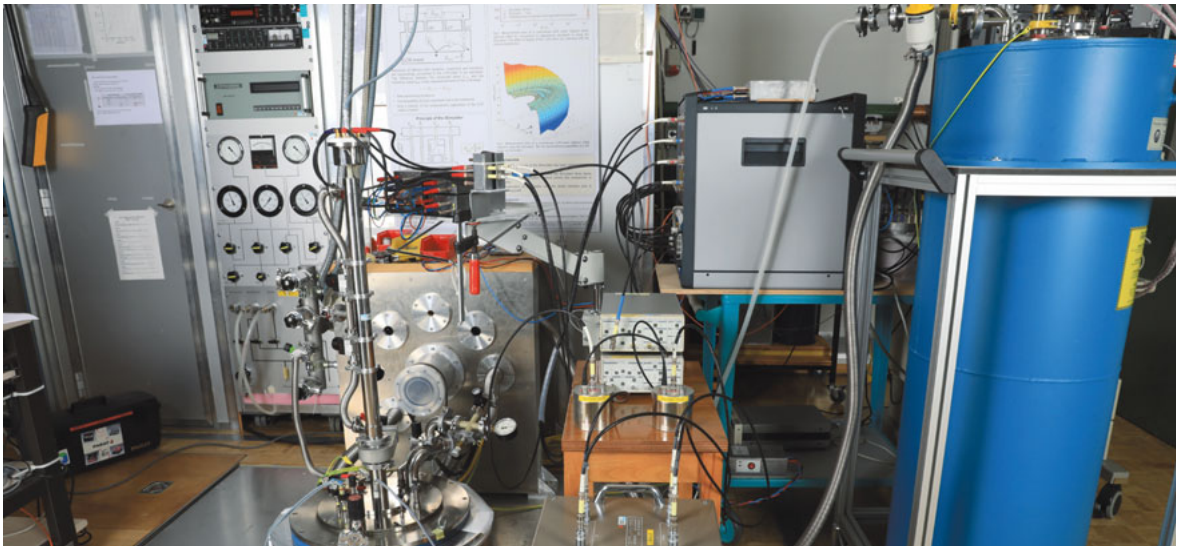


Abb. 1: Die Themenbereiche des METAS-Kompetenzzentrums für Quantenmetrologie



Beispiel eines Impedanzvergleichs mit der Josephson-Impedanz-Brücke am METAS basierend auf dem Referenzwiderstand des Quanten-Hall-Effekts.

schliesslich ans METAS transferiert werden. In einem 2024 startenden Projekt im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms Europäische Partnerschaft für Metrologie ist geplant, zu versuchen, Rydberg-Atome als elektrische Feldsensoren einzusetzen. Die Vorteile dieser Sensoren sind höhere Genauigkeit, höhere Geschwindigkeit und höhere Messfrequenzen, was in der industriellen Fertigung von Interesse sein kann.

Auch für die anderen Themenbereiche werden Möglichkeiten der Zusammenarbeit im Rahmen der dynamischen Schweizer Quantentechnologieszene gesucht. Die Quantenmetrologie soll sukzessive aufgebaut werden, damit künftig alle für die Schweiz relevanten Quantentechnologien abgedeckt werden können. Dadurch wird garantiert, dass das METAS die Vorteile der zweiten Quantenrevolution erfolgreich nutzt und für Industrie und Forschung die notwendigen metrologischen Grundlagen zur Verfügung gestellt werden.

Quantenmechanik

Die Quantenmechanik ist die Gesamtheit der physikalischen Gesetze, die das Verhalten der Welt auf der Ebene von Atomen und Molekülen beschreibt. Die Gesetze der klassischen Mechanik, die wir tagtäglich in unseren gewohnten Dimensionen erfahren, können auf der atomaren Ebene nicht alle Phänomene treffend beschreiben. Ab einer gewissen Grössenordnung geht die Quantenmechanik in die klassische Mechanik über. Dieses Korrespondenzprinzip verbindet die zwei Theorien.

1 Max Planck: Vorträge Reden Erinnerungen. Hrsg.: Hans Roos, Armin Herrmann. Springer, Berlin, Heidelberg 2001, Vom Relativen zum Absoluten, doi:10.1007/978-3-642-56594-6_11
2 Alain Aspect – Facts – 2022. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB 2024. Mon. 5 Feb 2024 https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2022/aspect/facts/
3 Er konnte zeigen, dass zwei quantenmechanisch verschränkte Teilchen oder Photonen diese Fernwirkung oder auch Nichtlokalität aufweisen, das heisst, dass bei einer Messung an einem der Teilchen das zweite instantan über diesen Eingriff Bescheid weiss.
4 Siehe etwa: A. Osterwalder and F. Merkt. Using high rydberg states as electric field sensors, 1999, Phys. Rev. Lett., 82, 1831
5 Switzerland: A Hub for Quantum, November 2023, Swissnex https://swissnex.org/app/uploads/sites/8/2023/11/Switzerland-A-Hub-for-Quantum-latest.pdf
6 Testing and Evaluation Infrastructure for European Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI), July 2023, European Commission, https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-quantum-communication-infrastructure-euroqci
7 B. Jeckelmann and B. Jeanneret, The quantum Hall effect as an electrical resistance standard, 2001, Rep. Prog. Phys. 64, 1603–1655.
8 B. Jeanneret and S. Benz, Application of the Josephson effect in electrical metrology, 2009, Eur. Phys. J. Spec. Top. 172, 181–206.
9 A. Jallageas, L. Devenoges, M. Petersen, J. Morel, L. G. Bernier, D. Schenker, P. Thomann and T. Südmeyer, First uncertainty evaluation of the FoCS-2 primary frequency standard, 2018, Metrologia 55, 366–385.
10 B. Bloom, T. Nicholson, J. Williams, et al. An optical lattice clock with accuracy and stability at the 10–18 level, 2014, Nature 506, 71–75.
11 NV-Zentren sind Stickstoffleerstellen in Diamanten. Sie bieten eine hervorragende Möglichkeit, den Zustand eines Quantensystems kohärent zu kontrollieren und so magnetische oder elektrische Felder zu messen.
12 Siehe https://www.quantum.unibas.ch/

Objekt

Präzisions-Steckverbinder für die Hochfrequenz-Metrologie

Koaxiale Steckverbinder sind in der Metrologie essenziell, um eine Signalverbindung zwischen verschiedenen Komponenten herzustellen. Sie spielen deshalb auch eine wichtige Rolle bei genauen Hochfrequenzmessungen und bei der Kalibrierung von Messmitteln. Eine präzise Fertigung und hochwertige Verarbeitung ist unerlässlich, um eine zuverlässige und definierte Signalübertragung zu gewährleisten. Koaxialverbinder existieren in verschiedenen Grössen und unterschiedlicher Ausprägung für verschiedene Frequenzbereiche. Die neueste Generation, mit der sich das METAS aktuell beschäftigt, wird Messungen bis 220 GHz ermöglichen und damit eine Rolle bei der Entwicklung des kommenden Mobilfunkstandards 6G spielen.

Interview

«Ich möchte einen Schwerpunkt auf die Nachhaltigkeit setzen.»

Mitte Oktober 2023 hat Dr. Bobjoseph Mathew, Vizedirektor und Abteilungsleiter Gesetzliche Metrologie am METAS, sein Amt als Präsident des Comité International de Métrologie Légale angetreten. Er erklärt uns die Bedeutung der Organisation Internationale de Métrologie Légale und der gesetzlichen Metrologie auf internationaler Ebene im Interview.

Dr. Bobjoseph Mathew, Vizedirektor und Abteilungsleiter Gesetzliche Metrologie am METAS und Präsident des *Comité International de Métrologie Légale.*

Dr. Bobjoseph Mathew, bevor wir in die Einzelheiten eintauchen, könntest du mir den Begriff gesetzliche Metrologie definieren und mir erklären, wieso sie für die Bevölkerung und die Industrie so wichtig ist?
Die gesetzliche Metrologie definiert die Anforderungen an Messmittel, deren Prüfung und Kontrollen ihrer Verwendung. Die Anwendung von gesetzlichen Anforderungen an Messungen und Messmittel zielen auf die Bereiche des Handels, der Gesundheit, des Umweltschutzes oder auch der öffentlichen Sicherheit. Vermieden werden soll, dass Fehlmessungen zu negativen Folgen für die Gesellschaft, die Umwelt oder den Endkonsumenten führen.

Du bist Präsident des CIML, welches der Ausschuss für das gesetzliche Messwesen und Teil der OIML ist. Was ist genau der Auftrag der OIML, des international obersten Gremiums in der gesetzlichen Metrologie?
Die Mission der OIML besteht darin, die einzelnen Länder dabei zu unterstützen, eine Infrastruktur für die gesetzliche Metrologie zu unterhalten. Es geht darum, grundsätzliche Standards und Anforderungen auf internationaler Ebene für die unterschiedlichen Messmittel aufzustellen und eine gegenseitige Anerkennung zu erreichen. Diese Regeln erleichtern den Handel, erhöhen das gegenseitige Vertrauen und fördern das Niveau des Konsumentenschutzes auf einer globalen Ebene.

Die OIML arbeitet mit verschiedenen Regierungen, internationalen Organisationen und der Industrie zusammen, um diese Infrastruktur, zum Beispiel Normen und Verfahren, aufzusetzen. Wie kooperiert die OIML mit all diesen Partnern?
Die OIML ist eine Organisation, welche auf einem multilateralen Staatsvertrag basiert. Die Mitglieder der OIML sind 120 verschiedene Mitgliedsstaaten. Diese Mitglieder schicken Regierungsvertreter und -vertreterinnen, die die Metrologie ihres Landes in der OIML, aber auch die OIML in ihrem Land vertreten. Sie haben eine doppelte Rolle.

Die Zusammenarbeit mit internationalen Organisationen erfolgt einerseits über Memoranda of Understanding (MoU), in denen der Rahmen der Zusammenarbeit festgelegt wird. Solche Vereinbarungen gibt es zum Beispiel mit der Internationalen Organisation für Standardisierung (ISO), der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) oder der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

Wir arbeiten ebenfalls mit internationalen Organisationen im Rahmen von Arbeitsgruppen, wie bei der Welthandelsorganisation (WTO) oder im Rahmen von Projekten wie zum Beispiel mit der Organisation der Vereinten Nationen für industrielle Entwicklung (UNIDO).

Und wie sieht die Zusammenarbeit mit der Schweiz aus? Du bist ja der Schweizer Vertreter in der OIML.
Der Hauptansprechpartner ist das METAS, welches die Schweiz in diesem Gremium vertritt. Ich bin der Delegierte des METAS. Das METAS bringt sich durch seine Fachexperten oder mich auf verschiedenen Ebenen in Arbeitsgruppen oder auf der Führungsebene ein. Das METAS organisiert ebenfalls Seminare oder Arbeitsgruppensitzungen an seinem Hauptstandort.

Wie kann die OIML die Gesetze der Mitgliedsstaaten beeinflussen, um den Konsumentenschutz und die Erleichterung des Handels weltweit in Bezug auf Messgeräte zu gewährleisten?
Ein Grossteil der Arbeit in der OIML ist es, Empfehlungen auszuarbeiten. Einige Länder übernehmen sie wortwörtlich, während andere sich auf die Grundsätze oder gewisse Definitionen beziehen. Nichtsdestotrotz kann so eine gewisse weltweite Harmonisierung in der gesetzlichen Metrologie erreicht werden.

Ferner trägt die *OIML Certification System (OIML-CS)* zur Vereinfachung des Marktzuganges von Messmitteln bei. Dabei handelt es sich um ein System, das die gegenseitige Anerkennung von Prüfberichten für Messmittel erlaubt. Dies hat zur Folge, dass verschiedene administrative Hürden bei der Zulassung oder Konformitätsbewertung nicht mehr genommen werden müssen.

Jetzt will ich mehr über deine neue Funktion als Präsident des CIML erfahren. Wie bist du Präsident des CIML geworden? Muss man einen Wahlkampf betreiben oder eine Wählerschaft überzeugen?
Ich habe mich in den letzten Jahren für verschiedene Themen innerhalb der OIML engagiert und dadurch ist bei mir das Interesse an einer Leitungsfunktion

gewachsen. Der damalige Präsident hat mich gefördert und hat mich zum Beitritt in den Presidential Council ermutigt. Als die Position des Vizepräsidenten im Jahre 2019 frei wurde, habe ich kandidiert. Tatsächlich gab es einen Wahlkampf zwischen mir und vier Kandidaten, in welchem ich mich durchsetzen konnte.

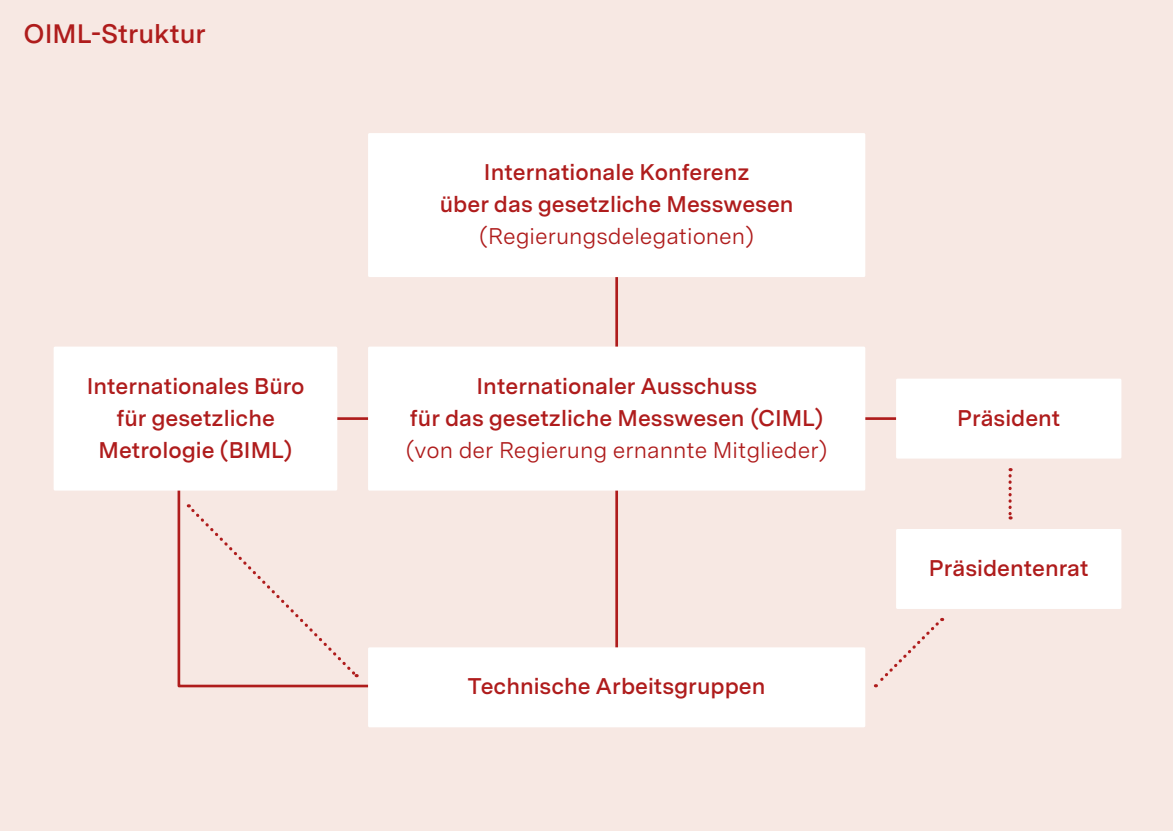
Wenige Jahre später wurde der Rücktritt des Präsidenten angekündigt. Ein anderer Kandidat und ich waren am Posten interessiert und es kam zu einer Stichwahl. Es war wichtig, bei den Wahlen gewisse Unterstützung zu bekommen aus allen unterschiedlichen Regionen. Aber es war kein Wahlkampf im eigentlichen Sinne.

Was sind deine wichtigsten Aufgaben als Präsident des CIML?

Als Präsident habe ich eine strategische Funktion, eine Aufsichts-, eine Repräsentations- und eine Entscheidfunktion. Ich muss erstens mit dem Presidential Council die strategischen Leitlinien für die folgenden Jahre festlegen. Zweitens muss ich schauen, dass das *Bureau International de Métrologie Légale (BIML)* seinen Aufgaben nachkommt, seine Managementtätigkeiten und sein Tagesgeschäft effizient betreibt. Drittens vertrete ich die OIML an verschiedenen internationalen und nationalen Anlässen, zu welchen die OIML eingeladen wird. Zuletzt muss ich in Zusammenarbeit mit dem Presidential Council Entscheide für die Organisation treffen wie die Priorisierung von künftigen Projekten oder die Definition und die Umsetzung des Arbeitsprogramms.

«Diplomatisches Geschick ist unabdingbar und Geduld eine unerlässliche Tugend.»

Die Leitung der Konferenzen und Meetings ist auch in meiner Verantwortung. Jedes Jahr gibt es ein Meeting und alle vier Jahre eine Konferenz, die ich mit dem BIML vorbereiten muss.



Die OIML hat verschiedene Organe. Eines davon ist das *Comité International de Métrologie Légale (CIML).*

Die Mitglieder des CIML anlässlich des letzten CIML Meetings in Chiang Mai, Thailand.

Welche Fähigkeiten und Kompetenzen muss man für diese Funktion haben?

Ein grosses Interesse für diese Funktion und die gesetzliche Metrologie ist unerlässlich. Es muss fast wie eine Leidenschaft sein. Diplomatisches Geschick ist unabdingbar und Geduld eine unerlässliche Tugend. Man muss für alles offen sein, sich alle Meinungen anhören. Ein politisches Gespür muss man auch haben, gerade jetzt, wo die weltpolitische Lage nicht so einfach ist.

Die Mehrsprachigkeit und die multikulturellen Affinitäten helfen auch, die einzelnen Weltregionen besser zu verstehen.

Wir leben in einer zunehmend digitalisierten Welt. Welche Auswirkungen hat die Digitalisierung auf die gesetzliche Metrologie weltweit?

Beispielsweise werden sich die Eigenschaften und die Verwendung von Messinstrumenten ändern. Anforderungen an Zertifikate und deren Verarbeitungsmöglichkeiten werden einem Wandel unterzogen. Aus diesem Grund werden digitale Kalibrierungszertifikate (DCC) immer wichtiger. Die Herausforderung für die OIML ist es, mit ihren Recommendations (Empfehlungen) mit diesen Entwicklungen Schritt halten zu können.

Wird die Digitalisierung der gesetzlichen Metrologie weltweit einheitlich gehandhabt?

Das ist genau die grosse Herausforderung! Die Digitalisierung wird regional unterschiedlich gelebt. Es gibt Regionen, die technologisch weiter sind als andere, und damit sind auch die Herausforderungen anders. Wenn man zum Beispiel über künstliche Intelligenz (KI) in Europa spricht, ist das eine andere Debatte als in anderen Regionen, wo es darum geht, digitale technische Messmittel zu etablieren oder Prozesse zu digitalisieren, wo man in Asien zum Teil weiter ist. Fragen zum Datenschutz und zur Datensicherheit werden in den verschiedenen Regionen unterschiedlich behandelt. Eine einheitliche Handhabung dieser Themenfelder scheint im Moment noch in weiter Ferne zu liegen.

Was unternimmt die OIML, um alle Mitgliedsstaaten auf den gleichen Stand zu bringen?
Wir haben eine Arbeitsgruppe, die Digitalisation Task Group, ins Leben gerufen, die gemeinsame Anforderungen und Anliegen der Mitgliedsländer gesammelt und ausgewertet hat. Daraus wird ein Arbeitsprogramm erstellt, das mehrheitsfähig sein muss und in welchem Schwerpunkte gesetzt werden.

Es mag erstaunlich klingen, aber E-Learning wird ein sehr wichtiges Element sein, weil die OIML eine entscheidende Rolle beim Wissensaustausch spielt. Es ist ein ideales Mittel dafür, ohne dass die Vertreter und Vertreterinnen rund um die Welt fliegen müssen. Es sollen verschiedene Kurse angeboten werden. Es soll auch eine Austauschplattform beinhalten, wo Experten und Expertinnen eingeladen oder spezifische Fragen diskutiert werden. Unter E-Learning muss man sich das ganze Spektrum von Lerninhalten vorstellen.

Welche neuen oder künftigen Entwicklungen im Bereich der gesetzlichen Metrologie könnten sich auf Unternehmen und Konsumierende in der ganzen Welt auswirken?
Ich glaube, dass neben der voranschreitenden Digitalisierung die Lebensmittelsicherheit, die Umwelt und die Gesundheit immer mehr Auswirkungen haben werden. Die gesetzliche Metrologie kann dabei eine aktive Rolle haben, entweder als Regulierin oder Gesetzgeberin, um die Erfüllung der Bedingungen zu kontrollieren. Dies ist aber vom politischen Entscheid von jedem Land abhängig.

Und als Präsident, was möchtest du in der OIML in deiner Amtszeit erreichen?
Ich möchte, dass die Kernaufgaben wie die Ausarbeitung von Recommendations effizient und nach den Bedürfnissen der Mitgliedsländer wahrgenommen werden. Weiter möchte ich einen Schwerpunkt auf die Nachhaltigkeit setzen. Die OIML soll ihre Ziele mehr auf Nachhaltigkeit fokussieren. Es fängt damit an, dass wir nicht mehr alle Sitzungen physisch durchführen, sondern auch Online-Sitzungen fördern. Es sollen auch Empfehlungen, welche einen Einfluss auf die Nachhaltigkeit haben wie zum Beispiel im Bereich EV-Charging oder der Gesundheit, vermehrt in den Fokus rücken.

Das Comité International de Métrologie Légale (CIML)

Das CIML ist das funktionelle Entscheidungsorgan der OIML.

Das CIML tritt jedes Jahr zusammen. Im Allgemeinen betreffen seine Entscheidungen:

- die Genehmigung der OIML-Strategie und des jährlichen Arbeitsprogramms des BIML,
- die Wahl des Präsidenten und der Vizepräsidenten,
- die Genehmigung der vom Direktor des BIML vorgelegten Finanzberichte,
- die Ernennung des Direktors oder der Direktorin des BIML und dessen oder deren Stellvertretung,
- die Annahme verschiedener Satzungen, Verordnungen, interner Verfahren etc.,
- die Genehmigung von Änderungen des technischen Arbeitsprogramms der OIML und
- die Annahme von Empfehlungen, Dokumenten und anderen Veröffentlichungen der OIML.

LinkedIn-Profil von Dr. Bobjoseph Mathew

Dienstleistung

Ermittlungen von Geschwindigkeiten basierend auf Videoaufnahmen

Mithilfe von geeigneten Videoaufnahmen können Vergehen und Verstösse gegen das Strassenverkehrsgesetz nachgewiesen werden. Die korrekte Analyse der Videoaufnahmen erfordert Fachwissen, mit welchem das METAS die Strafverfolgungsbehörden unterstützt. Ein wichtiger Aspekt solcher Weg-Zeit-Analysen sind die Unsicherheiten der ermittelten Geschwindigkeiten.

Dr. Daniel Sprecher, Dr. Christian Mester und Dr. Sören Fricke

Einerseits kann man sie bisweilen als bevormundend wahrnehmen; andererseits rechnet man fest damit, dass sie andere Fahrer oder Fahrerinnen einhalten: Viele von uns haben ein zwiespältiges Verhältnis zu ihnen. Gemeint sind die signalisierten und allgemeinen Höchstgeschwindigkeiten, im Folgenden kurz Tempolimiten genannt.

Kontrollbehörden stellen bei Geschwindigkeitsmessungen häufig Übertretungen der Tempolimiten fest. Meistens handelt es sich um geringe Übertretungen, welche ausser einer Ordnungsbusse keine weiteren Konsequenzen haben. Es werden aber auch so hohe Übertretungen festgestellt, dass sie als schwere Widerhandlungen gelten, bei denen sowohl die Staatsanwaltschaft (zwecks Strafverfahren) als auch das Strassenverkehrsamt (zwecks Fahrausweisentzug) aktiv werden müssen. Im Ausserortsbereich, wo eine Tempolimite von 80 km/h gilt und wo die meisten tödlichen Verkehrsunfälle passieren, gelten Netto-Geschwindigkeiten (gemessene Geschwindigkeit minus dem gesetzlich festgelegten Sicherheitsabzug) zwischen 110 km/h und 139 km/h als Vergehen gegen das Strassenverkehrsgesetz. Bei noch höheren Netto-Geschwindigkeiten handelt es sich um ein Verbrechen (sog. Raserdelikt) und dies wird mit einer Geldstrafe und mindestens zwei Jahren Führerausweisentzug sowie mindestens einem Jahr (oftmals bedingtem) Freiheitsentzug bestraft.

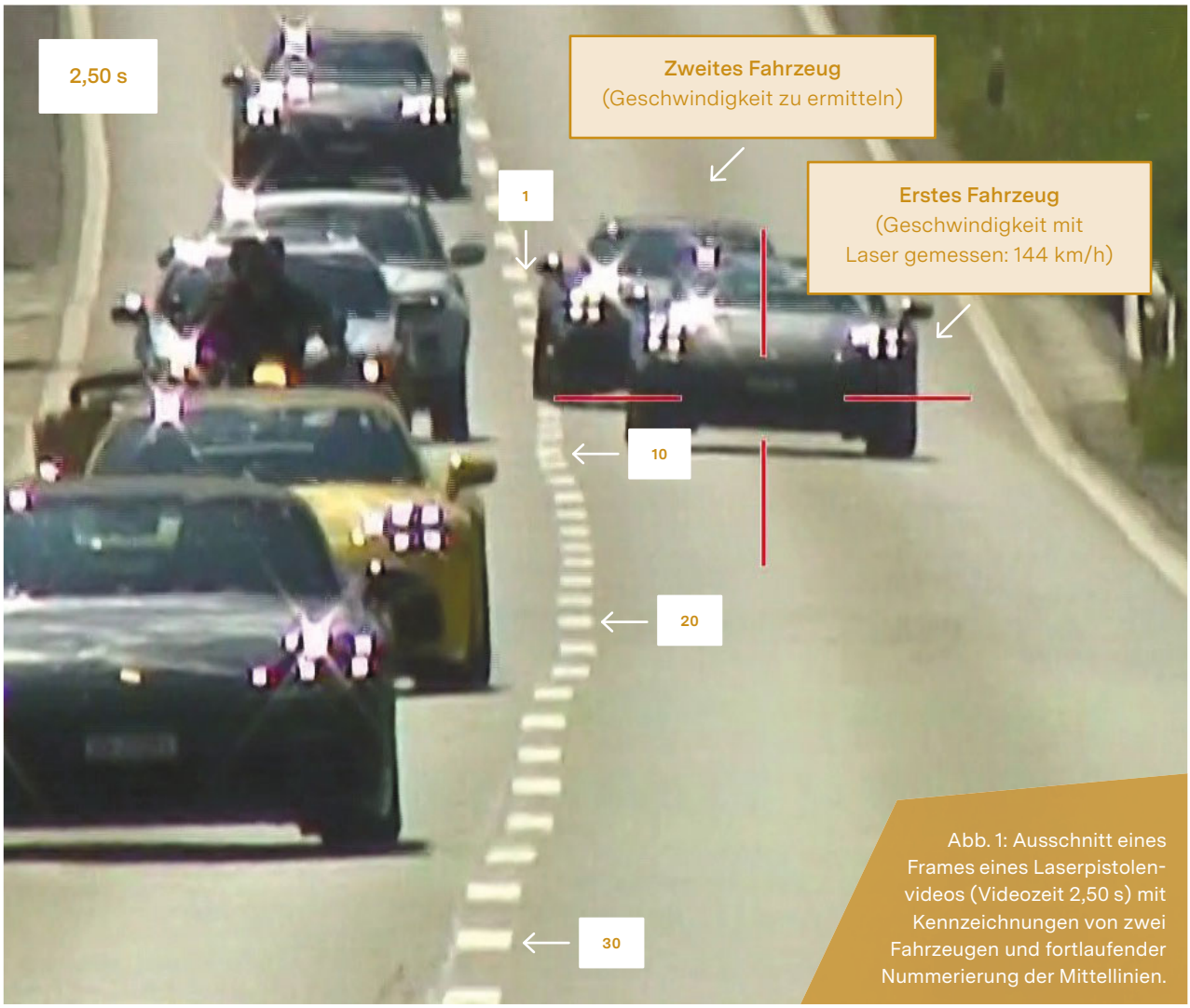


Abb. 1: Ausschnitt eines Frames eines Laserpistolenvideos (Videozeit 2,50 s) mit Kennzeichnungen von zwei Fahrzeugen und fortlaufender Nummerierung der Mittellinien.

Feststellung eines Raserdelikts durch eine amtliche Lasermessung

Zur Feststellung von Geschwindigkeitsübertretungen setzt die Polizei in erster Linie Radarmessmittel, Lasermessmittel und Schwellendetektoren ein, welche das METAS vorgängig geprüft, zugelassen und jährlich geeicht hat. Als Fallbeispiel wird in diesem Beitrag eine Lasermessung betrachtet, welche ausserorts auf einer Passstrasse durchgeführt wurde. Die zugelassene Laserpistole detektierte einen Messwert von 144 km/h und zeichnete in diesem Zusammenhang eine Videosequenz auf (siehe Abb. 1). Der Messwert betrifft das als «erstes Fahrzeug» bezeichnete Auto und die Netto-Geschwindigkeit beträgt beim geltenden Sicherheitsabzug von 4 km/h somit 140 km/h. Diese Übertretung liegt damit gerade an der Schwelle zu einem Raserdelikt.

In Anbetracht der schwerwiegenden Auswirkungen, welche eine solche Messung hat, müssen die verwendeten Messmittel absolut zuverlässig funktionieren. Aber auch bei kleineren Übertretungen müssen die gesetzlich festgelegten Fehlergrenzen nachweislich eingehalten werden. Als Prüf- und Zertifizierungsstelle trägt das METAS zusammen mit den Herstellerinnen und den Verwenderinnen die Verantwortung für verlässliche Geschwindigkeitsmessungen bei amtlichen Kontrollen.

Anderweitige Feststellung von Raserdelikten

Die Aktivitäten des METAS sind auf Messungen mit zugelassenen Messmitteln fokussiert. Es gibt aber noch weitere Möglichkeiten, wie Geschwindigkeitsübertretungen festgestellt werden können. Eine dieser Möglichkeiten liegt im Fokus dieses Beitrags.

In der Videoaufnahme des Fallbeispiels konnte beobachtet werden, dass ein zweites Fahrzeug dicht hinter dem ersten Fahrzeug folgte (siehe Abb. 1). Damit lag der Hinweis vor, dass die Geschwindigkeitsübertretung des zweiten Fahrzeugs ebenfalls im Bereich eines Vergehens oder Verbrechens lag. Eine amtliche Messung für dieses Fahrzeug lag jedoch nicht vor.

Es gibt also Situationen, in denen Strafverfolgungsbehörden auf Hinweise auf ein Vergehen oder Verbrechen stossen, ohne dass eine amtliche Messung an diesem Fahrzeug durchgeführt wurde. Die Behörden sind in solchen Fällen verpflichtet, Ermittlungen einzuleiten, um die Hinweise zu erhärten oder zu entkräften. Mögliche Quellen für Hinweise können sichtbare Unfallspuren, digitale Spuren im Fahrzeug oder sichergestellte Videoaufnahmen

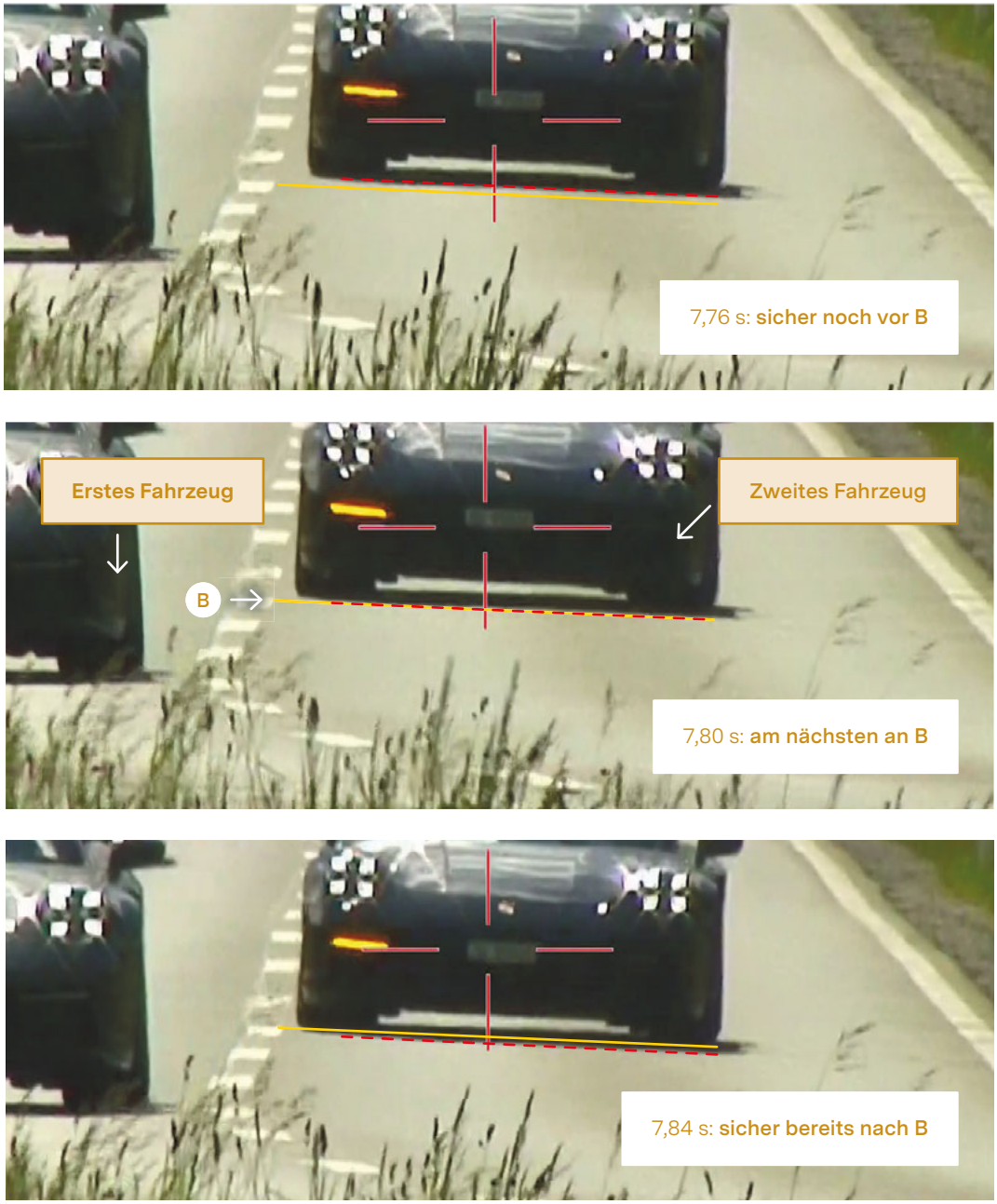


Abb. 2: Ausschnitte von drei weiteren Frames des Laserpistolenvideos mit angegebenen Videozeiten, Kennzeichnungen und Hilfslinien.

sein. Dieser Artikel und die Dienstleistungen des METAS fokussieren in diesem Zusammenhang auf Ermittlungen basierend auf Videoaufnahmen, wie sie zum Beispiel in folgenden Situationen vorliegen können:

- Ein Unfall oder die bewusste Inkaufnahme einer ernstlichen Gefahr für die Sicherheit anderer Verkehrsteilnehmer wurde von einer Kamera aufgezeichnet (bspw. einer Verkehrsüberwachungskamera),
- Eine Person filmte die eigene Fahrweise beispielsweise mit ihrem Handy und teilte die Aufnahme auf sozialen Netzwerken oder die Polizei stiess anderweitig auf diese Aufnahme,
- Im Rahmen einer amtlichen Geschwindigkeitskontrolle wurde ein Fahrzeug von der Videokamera des Messmittels aufgenommen, ohne dass eine gültige Messung an diesem Fahrzeug durchgeführt werden konnte (so wie in Abb. 1 das zweite Fahrzeug).

Ist die Videoaufnahme durch die Strafverfolgungsbehörden als zulässiges Beweismittel eingestuft worden, werden Fachexperten mit der quantitativen Ermittlung der mindestens gefahrenen Geschwindigkeit beauftragt. Im folgenden Abschnitt wird eine mögliche Analysemethode für das zweite Fahrzeug in Abbildung 1 illustriert.

Weg-Zeit-Analyse des Fallbeispiels

Die Weg-Zeit-Analyse verwendet mindestens zwei ortsfeste Referenzpositionen, bei denen die Durchfahrtszeiten des Fahrzeugs bestimmt werden. Im vorliegenden Fallbeispiel fiel die Wahl der beiden Referenzpositionen A und B auf die Anfangspunkte der Mittellinien Nr. 6 bzw. Nr. 30 (siehe Abb. 1).

In Abbildung 2 sind Ausschnitte von drei aufeinanderfolgenden Frames gezeigt. Im ersten Frame (Videozeit 7,76 s) befinden sich die Vorderräder des zweiten Fahrzeugs (rot markiert) mit Sicherheit noch vor der Referenzposition B (gelb markiert). Im dritten Frame (Videozeit 7,84 s) haben die Vorderräder die Referenzposition B schon mit Sicherheit passiert. Daraus folgt, dass die Durchfahrtszeit 7,80 s ± 0,04 s beträgt. Die hier angegebene Unsicherheit von 0,04 s grenzt einen Wertebereich ein, innerhalb dessen der wahre Wert liegt.

Analog wurde die Durchfahrtszeit bei der Referenzposition A zu 2.28 s ± 0.08 s bestimmt. Aus den beiden ermittelten Durchfahrtszeiten kann die Dauer für das Zurücklegen der Strecke von A nach B zu 5.52 s ± 0.12 s bestimmt werden.

Da die Videoaufnahme nur Zeit-, aber keinerlei Längeninformationen enthält, ist es nicht möglich, einzig auf der Basis von Videoaufnahmen, Geschwindigkeiten zu ermitteln. Es braucht zwingend eine weitere, unabhängige Quelle, welche metrische Informationen enthält. Längen von Wegstrecken können nachträglich vor Ort mit technischen Hilfsmitteln wie Messbändern, Messrädern, Laserscannern oder Messfahrzeugen vermessen werden. In diesem Fall wurde die Wegstrecke von A nach B im online einsehbaren Orthobild von swisstopo zu 231.7 m ± 1.3 m bestimmt.

Die Berechnung der Geschwindigkeit aus der Dauer und der Wegstrecke ist im Kasten rechts oben dargestellt. Auf die Frage der Staatsanwaltschaft («Mit welcher Geschwindigkeit fuhr das zweite Fahrzeug mindestens?») kann somit die folgende Antwort gegeben werden: Die in dieser Analyse ermittelte gefahrene Geschwindigkeit des zweiten Fahrzeugs betrug *mindestens 147 km/h*.

Eine Laserpistole im Einsatz (nachgestellte Szene).

Für die Geschwindigkeit werden zwei Ergebnisse berechnet:
Brutto-Geschwindigkeit = möglichst genaues Ergebnis
= 231,7 m / 5,52 s = 42,0 m/s = 151,1 km/h

Netto-Geschwindigkeit = kleinstes mit den Daten konsistentes Ergebnis
= (231,7 m – 1,3 m) / (5,52 s + 0,12 s) = 40,8 m/s = 147,0 km/h

zusammenfassende und gerundete Darstellung: 151 km/h ± 4 km/h

Nicht jede Videoaufnahme ist für eine Ermittlung geeignet

Die hier demonstrierte Analyse zeigt, dass aus Videoaufnahmen quantitative und sichere Aussagen zu der gefahrenen Geschwindigkeit abgeleitet werden können. Die Quellen der Analyse sind die registrierten Bildaufnahmezeitpunkte, die Bildinhalte und die separaten Wegmessungen. Bei der Analyse wurde die Unsicherheit der Ermittlung für diesen Einzelfall hergeleitet und zugunsten des Beschuldigten abgezogen. Ein pauschaler Abzug wie bei amtlichen Messungen kommt nicht zur Anwendung und wäre nicht sinnvoll, weil die Unsicherheit von vielen Faktoren wie Länge der Strecke, Qualität und Perspektive abhängt.

Die Videoaufnahme der Laserpistole wurde als Illustration in diesem Artikel gewählt, weil sie die beiden grundsätzlich unterschiedlichen Ermittlungsarten von Geschwindigkeiten enthält. Bei Messungen (wie am ersten Fahrzeug) untersteht das Messmittel mitsamt Verfahren der Messmittelverordnung und es muss im Vorhinein geprüft, zugelassen und geeicht sein. Bei nachträglichen Ermittlungen gilt hingegen der Grundsatz der Beweismittelfreiheit, das heisst, die im Einzelfall vorhandenen Beweismittel werden im Nachhinein analysiert. Dabei ist zu beachten, dass nicht jede Videoaufnahme für eine Ermittlung geeignet ist, die technische Verwertbarkeit muss im Einzelfall von einer Fachperson beurteilt werden. Auch die verwendeten Analysemethoden werden im Einzelfall abhängig vom vorhandenen Beweismittel ausgewählt.

Zu betonen ist, dass Ermittlungen nur bei Hinweisen auf schwere Widerhandlungen möglich sind. Messungen können hingegen tatverdachtsunabhängig und in grosser Zahl durchgeführt werden.
Für eine ausführlichere Abhandlung des Themas und eine Beschreibung weiterer Analysemethoden kann der Beitrag «Weg-Zeit-Analysen von Videoaufnahmen» im Jahrbuch zum Strassenverkehrsrecht (Zürich 2024) gelesen werden.

Dienstleistungen des METAS

Bei Ermittlungen basierend auf Videoaufnahmen:
- Videogutachten zu Geschwindigkeits- und Abstandsvergehen (nur im Auftrag von Staatsanwaltschaften und Gerichten)
- Kurse zu Weg-Zeit-Analysen von Videoaufnahmen (siehe andere Infobox)

Bei amtlichen Geschwindigkeitsmessungen:
- Prüfungen und Zulassungen von Bauarten
- Eichungen von einzelnen Messmitteln
- Messmittelgutachten zu einzelnen Geschwindigkeitsmessungen (nur im Auftrag von Staatsanwaltschaften und Gerichten)

Grundkurs Weg-Zeit-Analysen

Das METAS führt seit 2021 jährlich einen deutschsprachigen Kurs über die hier beschriebene Analysemethode von Videoaufnahmen durch. Auf Französisch und Italienisch wurde der Kurs bereits je einmal durchgeführt. Der Kurs richtet sich in erster Linie an Mitarbeitende von Polizeibehörden und Instituten, ist aber für jedermann offen. Es werden geeignete Software-Tools eingeführt und die Teilnehmerinnen und Teilnehmer lernen diese anhand von Demos und zahlreichen Praxisbeispielen anzuwenden.

Weitere Informationen:

www.metas.ch ›
Dienstleistungen › Kursangebot

Über das METAS

Nationale Referenzlabore für gentechnisch veränderte Organismen und durch Lebensmittel übertragbare Viren

Die Lebensmittelsicherheit wird von mehreren Akteuren gewährleistet, sei es auf der Ebene der Produktion, der Verarbeitung, der Vermarktung oder der Kontrolle. Nationale Referenzlabore für gentechnisch veränderte Organismen und durch Lebensmittel übertragbare Viren spielen bei der Kontrolle eine entscheidende Rolle. Sie tragen dazu bei, dass die Vollzugslabore einheitliche Analysemethoden anwenden.

Lebensmittel, die roh oder nur leicht erhitzt konsumiert werden, können pathogene Viren auf den Menschen übertragen. Dies trifft auch auf diese leckere Eistorte zu, bei welcher die Erdbeeren mit Hepatitis-A-Viren kontaminiert waren.

In der Schweiz gilt der Grundsatz, dass Lebensmittel, welche auf den Markt gelangen, die Gesundheit der Konsumentinnen und Konsumenten nicht gefährden dürfen. Um die gesundheitliche Unbedenklichkeit von Produkten sicherzustellen sowie Täuschungen zu verhindern, sind Untersuchungen von Lebensmitteln und ebenso von Gebrauchsgegenständen erforderlich. Zum Beispiel werden gentechnisch veränderte Organismen (GVO) in Lebensmitteln von einer Mehrheit der Schweizer Bevölkerung nicht akzeptiert, weshalb regelmässig Marktkontrollen durchgeführt und die Einhaltung der gesetzlichen Regelungen überprüft werden. Diese Aufgaben werden mehrheitlich durch die amtlichen Vollzugslabore der Schweiz (kantonale Labore, Verbraucherschutzämter) wahrgenommen. Die Rolle der beiden Nationalen Referenzlabore (NRL) am METAS für gentechnisch veränderte Organismen und durch Lebensmittel übertragbare Viren besteht unter anderem in der Sicherstellung, dass die Vollzugslabore einheitliche Analysemethoden anwenden. Durch den konsequenten Einsatz von validierten Analyseverfahren lassen sich beispielsweise Erreger wie Viren zuverlässig in Lebensmitteln nachweisen und so das Risiko von ernsthaften Erkrankungen minimieren.

Die gesetzlichen Grundlagen bezüglich der Ernennung und der Aufgaben von NRL sind im Lebensmittelgesetz (Art. 43 LMG) und in der Verordnung über den Vollzug der Lebensmittelgesetzgebung (Art. 59–61 LMVV) festgeschrieben. Der Bund respektive das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) ernennt die Nationalen Referenzlabore. Es kann Labore, die vom Bund betrieben werden, oder auch Privatlabore mit dieser Aufgabe betreuen. In der Schweiz gibt es insgesamt 15 NRL, die alle ein analytisches Spezialgebiet betreuen. Am METAS haben vier Labore diese Funktion; die zwei oben erwähnten sowie das NRL für chemische Elemente und Stickstoffverbindungen in Lebensmitteln und das NRL für Prozesskontaminanten in Lebensmitteln.

Funktionen und Aufgaben

Die Nationalen Referenzlabore erfüllen in ihrer Funktion verschiedene Aufgaben: Sie arbeiten mit den Referenzlaboren der Europäischen Union (EURL) zusammen und pflegen den Austausch auf europäischer Ebene mit dem Netzwerk der Nationalen Referenzlabore der Mitgliedsstaaten. Weiter koordinieren sie die Tätigkeiten der Vollzugslabore, fördern die Harmonisierung von international anerkannten Analysemethoden und organisieren einen jährlichen Erfahrungsaustausch mit den Vollzugslaboren. Die NRL bilden durch ihre oftmals langjährige Erfahrung in ihrem Gebiet ein analytisches Kompetenzzentrum und bieten den Vollzugslaboren technische und wissenschaftliche Unterstützung an. Zum Beispiel können NRL für die Vollzugslabore Bestätigungsanalysen durchführen, neue Nachweismethoden validieren und Laborvergleichstests oder Eignungsprüfungen für die amtlichen Labore organisieren. Auch können die NRL im Auftrag des BLV Untersuchungskampagnen durchführen.

Messkampagnen und Marktkontrollen im Auftrag des BLV

Die beiden Nationalen Referenzlabore für gentechnisch veränderte Organismen in Lebensmitteln (NRL-GVO) und für durch Lebensmittel übertragbare Viren (NRL-Viren) beraten das BLV bezüglich des Risikos für Konsumentinnen und Konsumenten durch humanpathogene Viren in Lebensmitteln oder das Auftreten von GVO in Lebensmitteln auf dem Schweizer Markt. Bei einem Verdacht auf Viren oder GVO in Lebensmitteln respektive bei einem erhöhten Auftreten zum Beispiel anhand von Meldungen im Europäischen Schnellwarnsystem RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed) können Marktkontrollen von importierten Lebensmitteln durchgeführt werden, welche das BLV dem NRL-GVO oder dem NRL-Viren des METAS in Auftrag gibt. Bei diesen Messkampagnen erfolgt die Probenahme meistens an den Zollstellen und Flughäfen der Schweiz. Für die eventuell sich ergebenden Vollzugsaufgaben bei positiven Befunden ist jeweils ein Vollzugslabor zuständig.

In der Vergangenheit wurden bereits diverse Messkampagnen im NRL-Viren durchgeführt, zum Beispiel 2014 die Untersuchung von Tiefkühlbeeren, von Gemüsen und Kräutern aus asiatischer Herkunft im Jahr 2015, oder von Rohwürsten und Leberstreichwürsten 2016. In der Muschelsaison 2017/2018 wurden Austern, Miesmuscheln, Venusmuscheln etc. untersucht, und in den Jahren 2019 bis 2021 wurden diverse Kampagnen mit dem Fokus auf Hepatitis-E-Viren in Fleischprodukten durchgeführt.

Im Frühjahr 2021 hat das Bundesamt für Gesundheit (BAG) aufgrund von Meldungen der Ärzte und Ärztinnen eine schweizweite Häufung von Hepatitis-E-Virus-Infektionen registriert. Betroffen waren 104 Personen, wovon 29 hospitalisiert werden mussten und zwei Patienten wegen der Infektion verstorben

sind. Die betroffenen Personen wurden zu ihrem Lebensmittelkonsum befragt, wobei dies keine eindeutige Zuordnung zu einer bestimmten Infektionsquelle ergab. Jedoch gaben alle Personen an, Schweinefleischprodukte konsumiert zu haben. Vom BLV wurde daher entschieden, ein Monitoring zu Hepatitis-E-Viren in Fleisch und Fleischprodukten durchzuführen. Durch die kantonalen Lebensmittelkontrollbehörden der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein wurden 199 Proben in verschiedenen Betrieben erhoben. Von 47 Frischfleischproben wurden zwei Schweinelebern positiv auf Hepatitis-E-Viren getestet und von 152 Wurstwaren waren drei Produkte positiv. Diese Ergebnisse zeigten auf, dass Fleischprodukte in der Schweiz mit Hepatitis-E-Viren kontaminiert sein können und somit eine Infektion beim Konsum von solchen Produkten möglich ist.

Die Untersuchungsmethoden

Um GVO und Viren in Lebensmitteln nachzuweisen und zu quantifizieren, kommen in den beiden Nationalen Referenzlaboren molekularbiologische Methoden zur Anwendung. Der Nachweis von GVO wie auch von humanpathogenen Viren erfolgt anhand der aus der Lebensmittelmatrix extrahierten Nukleinsäuren respektive des genetischen Materials. Bei GVO-Proben besteht dieses aus Desoxyribonukleinsäure (DNA), bei den relevanten Viren meistens aus Ribonukleinsäure (RNA). Der Nachweis der Nukleinsäuren erfolgt mittels der Polymerase-Kettenreaktion (englisch: Polymerase Chain Reaction, PCR; siehe Infobox).

Real-Time PCR

Bei der Real-Time PCR, auch Quantitative PCR genannt, wird dem Reaktionsgemisch eine fluoreszenzmarkierte Sonde zugegeben (qPCR). Die Zunahme des PCR-Produktes wird mittels dieser Sonde am Ende jedes PCR-Zyklus gemessen. Dabei wird durch die Nuklease-Aktivität der DNA-Polymerase der Fluoreszenz-Farbstoff der Sonde abgespalten, was vom Real-Time-PCR-Thermocycler detektiert wird. Die Anzahl PCR-Zyklen, bei der das gemessene Fluoreszenz-Signal einen vorgegebenen Schwellenwert übersteigt, ergibt den Cq-Wert (Quantification Cycle). Je mehr Ziel-DNA der PCR-Reaktion zugegeben wird, desto weniger PCR-Zyklen sind erforderlich, um den Schwellenwert zu erreichen. So lässt sich der DNA-Gehalt von unbekannten Proben bestimmen. Für die Quantifizierung der Ziel-DNA in einer Probe wird der Cq-Wert der Probe mit dem Cq-Wert eines Standards (oder einer Standardreihe) verglichen. Auf

diese Weise lässt sich der prozentuale Anteil eines GVO in einem Lebensmittel bestimmen, zum Beispiel von Roundup-Ready-Soja in einer Tofuprobe.

Die Digital-PCR-Methode

Für die quantitative Analyse von GVO wie auch von Viren wird noch eine zweite, präzisere Methode angewendet, die sogenannte Digital-PCR. Bei diesem Verfahren wird die Ziel-DNA in eine grosse Anzahl einzelner Reaktionsgefässe (Wasser-in-Öl-Tröpfchen oder Kavitäten einer Nanoplatte) aufgeteilt, die ein definiertes Volumen im Nanoliterbereich aufweisen. Die DNA in den Kavitäten wird sodann in einer PCR mit einer fluoreszenzmarkierten Sonde amplifiziert (analog der Real-Time PCR). Die Tröpfchen werden danach im Digital-PCR-Reader ausgelesen; es resultiert für jedes Tröpfchen ein digitales Ergebnis: Amplifikationssignal ja/nein. Durch Auszählen einer grossen Anzahl Tröpfchen, etwa 20 000 pro Reaktion, wird eine statistische Signifikanz erreicht. Der Anteil an Tröpfchen mit erfolgter Amplifikation ist proportional zur eingesetzten Menge der Ziel-DNA, was zur Quantifizierung des GVO-Anteils oder der Viruskonzentration in einer Probe verwendet wird. Im Gegensatz zur Real-Time PCR wird bei der Digital-PCR das Signal nicht nach jedem PCR-Zyklus, sondern erst nach erfolgter Amplifikation der DNA-Sequenz (Endpunkt-PCR) vom Reader ausgewertet. Dadurch spielt die Amplifikationseffizienz nur eine geringe Rolle, weshalb die Digital-PCR gegenüber Inhibitoren weniger empfindlich ist als die Real-Time PCR. Dies ist für die Analyse von Lebensmittelproben, die oftmals inhibierende Inhaltsstoffe enthalten, ein grosser Vorteil.

In der Schweiz dürfen gentechnisch veränderte Organismen in Lebensmitteln, wie beispielsweise diese Maiskörner und Sojabohnen, nur mit einer Bewilligung des BLV in Verkehr gebracht werden. Im NRL-GVO am METAS wird geprüft, ob die gesetzlichen Anforderungen bezüglich GVO bei Lebensmitteln erfüllt sind.

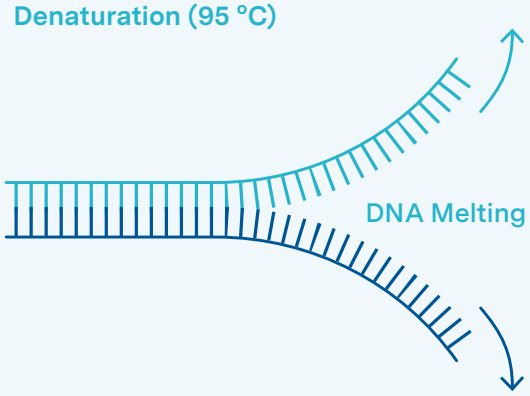
Die Polymerase-Kettenreaktion (PCR)

Die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) ist eine molekularbiologische Methode, die zur exponentiellen Amplifikation von DNA in vitro verwendet wird. Die PCR ermöglicht die schnelle und selektive Vermehrung spezifischer DNA-Abschnitte. In einem PCR-Reaktionsgemisch werden Ziel-DNA, Primer sowie DNA-Bausteine (Nukleotide; in der Grafik symbolisiert durch die T) und ein hitzebeständiges DNA-Polymerase-Enzym hinzugefügt. Der PCR-Zyklus besteht aus den drei Hauptschritten Denaturierung, Annealing und Extension.

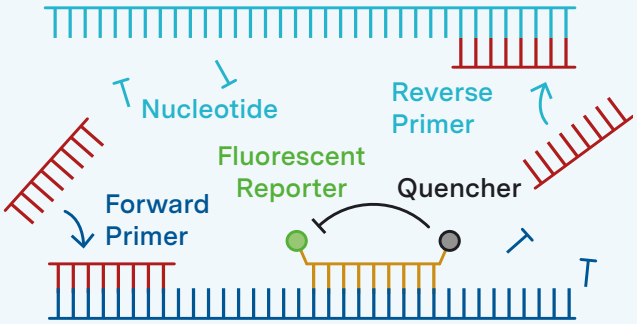
Bei der Denaturierung wird die DNA-Doppelhelix durch Erhitzen auf 95 °C getrennt; beim Annealing binden die Primer bei zirka 50–65 °C an die Ziel-DNA; bei der Extension verlängert die DNA-Polymerase bei 72 °C die Primer durch Anbinden von Nukleotiden zu einem neuen DNA-Strang, wobei die Nukleotid-Abfolge (Sequenz) der Ziel-DNA als Vorlage dient und von der DNA-Polymerase abgelesen wird. Dadurch werden zwei neue DNA-Stränge synthetisiert, die beim nächsten PCR-Zyklus wiederum als Vorlage dienen.

Durch mehrere Zyklen (normalerweise 35–45) werden die DNA-Fragmente exponentiell vervielfältigt. Bei der Real-Time PCR wird dem Reaktionsgemisch noch eine fluoreszenzmarkierte Sonde beigegeben. Diese wird durch die Aktivität der DNA-Polymerase abgebaut, was ein Fluoreszenzsignal freisetzt, das vom Real-Time-PCR-Gerät nach jedem PCR-Zyklus gemessen wird.

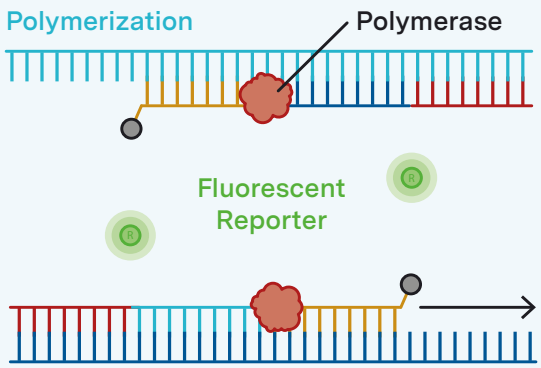
1 Denaturation (95 °C)



2 Primer Annealing (50–65 °C)



3 Extension (72 °C)



Vorgehensweise bei der GVO-Analytik

Bei der Untersuchung von Lebensmitteln auf GVO-Anteile wird zuerst die DNA aus dem Probenmaterial extrahiert. Das NRL-GVO verfügt über sechs verschiedene Extraktionsverfahren, welche je nach Beschaffung der vorliegenden Lebensmittelmatrix zur Anwendung kommen. Danach wird die Proben-DNA mit allgemeinen Suchverfahren (Screening) nach genetischen Elementen untersucht, welche in der Transgen-DNA von vielen GVO enthalten sind. Dies sind meistens genetische Steuerelemente, wie zum Beispiel Promotor- oder Terminator-Sequenzen. Bei einem positiven Befund werden sogenannte Konstrukt- oder Event-spezifische Methoden angewendet, mit denen der GVO identifiziert werden kann. Durch Multiplex-PCR-Methoden können in einer PCR-Reaktion gleichzeitig mehrere genetische Elemente nachgewiesen werden, was die Untersuchungen beschleunigt und die Kosten reduziert.

Bei Analysenaufträgen von einem Vollzugslabor erhält das NRL-GVO meistens Proben, die in ihrem GVO-Screening bereits einen positiven Befund ergeben haben. Im NRL-GVO wird dann mithilfe von eigens entwickelten Multiplex-qPCR-Methoden versucht, den enthaltenen GVO-Event zu identifizieren. Wenn dies gelingt, wird der identifizierte GVO-Event mittels Digital-PCR quantifiziert, wobei die vom Referenzlabor der EU validierten, Event-spezifischen Referenzmethoden verwendet werden. Bei stark prozessierten Lebensmitteln wie zum Beispiel Popcorn, Tofu, Ketchup, Maisstärke etc. ist die DNA jedoch oftmals stark degradiert oder nur noch in geringen Spuren vorhanden, was die molekularbiologische Analyse erschwert bis gar verunmöglicht.

Vorgehensweise bei der Virus-Analytik

Bei der Virus-Analytik erfolgt die Probenahme durch die Vollzugslabore oftmals bei einem Verdacht auf eine lebensmittelbedingte Ausbruchserkrankung. Anhand der konsumierten Lebensmittel und der Symptome von betroffenen Personen lässt sich ein Verdacht bezüglich des verursachenden Virus äussern, der dann im NRL-Viren durch die Untersuchung der Lebensmittel analytisch bestätigt werden soll.

Entwicklung von Messtechniken für biologische Messungen

Das Hauptziel von beiden NRL besteht darin, neue Messtechniken für biologische Messungen zu entwickeln, Messungen vergleichbar zu machen und Messverfahren, die bisher hauptsächlich qualitativ sind, quantitativ nutzen zu können. Kürzlich hat das NRL-Viren Referenzmaterialien für den Nachweis von Vibrionen (Bakterien, die im Meerwasser und in Meeresfrüchten vorkommen) entwickelt und weitere Entwicklungen werden noch folgen.

Im Bereich der Forschung und Entwicklung von GVO-Pflanzen wird vermehrt die sogenannte Genom-Editierung eingesetzt (CRISPR/Cas-System), wobei nur noch kleinste Sequenzabschnitte oder gar nur einzelne Basenpaare im Pflanzengenom verändert werden. Diese Modifikationen mit der etablierten PCR-Technologie zuverlässig nachzuweisen und zu quantifizieren, ist eine grosse Herausforderung. Ein Ziel des NRL-GVO ist, neue Messtechniken basierend auf der Genom-Sequenzierung zu entwickeln und zu validieren, um biologische Messverfahren für zukünftige analytische Herausforderungen bereitzustellen.

Bewilligung für GVO

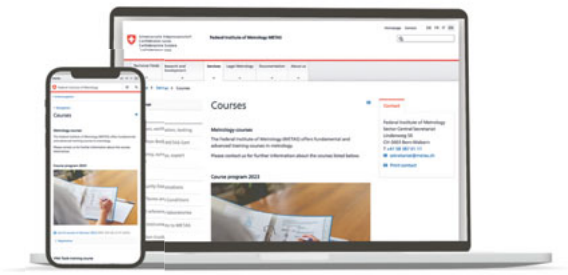
Gentechnisch veränderte Organismen (GVO) in Lebensmitteln dürfen in der Schweiz nur mit einer Bewilligung des Bundesamtes für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) in Verkehr gebracht werden. Vier gentechnisch veränderte Pflanzenlinien sind bewilligt: drei Maislinien und eine Sojalinie (Roundup-Ready-Soja). Für Lebensmittel und Zusatzstoffe, die von diesen bewilligten GVO stammen, besteht eine umfassende Kennzeichnungspflicht. Für 55 weitere GVO-Pflanzenlinien (Mais, Soja, Baumwolle, Raps) besteht eine Toleranzregelung.

Information, Weiterbildung und Kurse

Bereit für neues Wissen?

METaspects

Tätigkeitsbericht 2023



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 unseren 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