

## In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich im Web-Jahresbericht unter [www.ptb.de](http://www.ptb.de))

### Grundlagen der Metrologie

#### 8-Kanal-pTx-Kopfspule mit hoher $B_1$ -Effizienz für die 7-Tesla-MRT fertiggestellt

Aufbauend auf einem experimentell erprobten Design wurde eine 8-kanalige 7-T-Sende/Empfangsspule hoher  $B_1$ -Effizienz konstruiert, mithilfe additiver Verfahren gefertigt und schließlich erfolgreich getestet. Der Aufbau gewährleistet die Anforderungen an Patientensicherheit und Patientenkomfort und soll bei zukünftigen Probandenstudien am 7-T-MRT in Berlin-Buch eingesetzt werden. (H. Pfeiffer, FB 8.1, [harald.pfeiffer@ptb.de](mailto:harald.pfeiffer@ptb.de); F. Seifert, FB 8.1, [frank.seifert@ptb.de](mailto:frank.seifert@ptb.de))

#### Normenkonformität für 7-T-8-Kanal-pTx-Kopfspule bescheinigt

Der 8-Kanal-pTx-Kopfspule für die 7-T-MRT wurde von einer zertifizierten Benannten Stelle Normenkonformität bescheinigt. Grundlage waren Forschungsarbeiten zur Bestimmung der maximalen lokalen spezifischen Absorptionsrate  $psSAR_{10g}$  insbesondere für den mehrkanaligen Sendebetrieb. Damit konnte die Normenkonformität hinsichtlich IEC-60601-1-1 und IEC 60601-2-33 nicht nur für den Standard-Einkanal-Mode, sondern auch für den 8-Kanal-pTx-Mode der 7-T-Kopfspule demonstriert werden. (H. Pfeiffer, FB 8.1, [harald.pfeiffer@ptb.de](mailto:harald.pfeiffer@ptb.de); F. Seifert, FB 8.1, [frank.seifert@ptb.de](mailto:frank.seifert@ptb.de))

#### Aufkonzentrierung von hyperpolarisiertem Xenon im kontinuierlichen Gasstrom

Hyperpolarisiertes Xenongas wird in der Magnetresonanztomografie für biomedizinische und fundamentalphysikalische Experimente eingesetzt. Bisher war es bei vielen Anwendungen nötig, ein aufwendiges Verfahren zur Separation des Xenongases von den anderen Prozessgasen zu verwenden. Durch den Einsatz semipermeabler Membranen ist es nun gelungen, im kontinuierlichen Gasstrom den Hauptbestandteil der Prozessgase zu separieren, ohne die Kernspinpolarisation des Xenongases negativ zu beeinflussen. Mit diesem Verfahren konnte die Xe-Konzentration im Arbeitsmedium um den Faktor zehn erhöht werden. Dies erlaubt nun die direkte Verwendung des hyperpolarisierten Gases aus dem Polarisator ohne aufwendige Zwischenschritte. (W. Kilian, FB 8.1, [wolfgang.kilian@ptb.de](mailto:wolfgang.kilian@ptb.de))

#### Verbundvorhaben zu Untersuchungen der Hämodynamik und Oxygenierung der Niere begonnen

Akute Nierenschädigungen führen zu einer plötzlich einsetzenden Verschlechterung der Nierenfunktionen bis hin zum akuten Nierenversagen. Ohne rasche Diagnostik und Therapie sind sie potenziell lebensbedrohlich und bergen ein hohes Risiko dauerhafter Nierenschädigungen. Um die pathophysiologischen Ursachen für diese Erkrankung besser zu verstehen, sind grundlegende Untersuchungen zur Hämodynamik und Oxygenierung der Niere in Tiermodellen von besonderer Bedeutung. In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundvorhaben „Validierung quantitativer Magnetresonanz-Oxymetrie für Diagnostik und Therapieführung akuter und chronischer Nierenerkrankungen“ werden das Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin, die Charité Berlin und die Arbeitsgruppe *Medizinisch-optische Bildgebung* der PTB gemeinsam einen tierexperimentellen Demonstrator aufbauen und für grundlegende Untersuchungen zur Nierenphysiologie einsetzen. Dieser erlaubt die simultanen Untersuchungen zur Nierenphysiologie mittels parametrischer Magnetresonanz-Tomografie, quantitativer Verfahren der integrativen Physiologie und quantitativer Nahinfrarotspektroskopie. (D. Grosenick, FB 8.3, [dirk.grosenick@ptb.de](mailto:dirk.grosenick@ptb.de))

#### Rekonstruktion der optischen Eigenschaften eines gewebeoptischen Phantoms mit zwei Schichten

Eine von der Universität Florenz entwickelte Fit-Methode („Optimal Estimation“) zur Bestimmung der optischen Eigenschaften stark streuender Medien wurde gemeinsam anhand von Phantommessungen der PTB experimentell validiert. Die Rekonstruktionsmethode nutzt einen Bayes'schen Ansatz, bei dem insbesondere A-priori-Informationen für die Fit-Parameter sowie Unsicherheiten fester Parameter in die Auswertung einbezogen werden können. In einem Zweischicht-Flüssigphantom wurden die Absorptionskoeffizienten in beiden Schichten unabhängig variiert. Bis zu 6 Fitparameter konnten aus Messungen der diffusen Reflexion mit Pikosekunden-Zeitauflösung bei einem festen Quelle-Detektor-Abstand ermittelt werden. Bemerkenswert ist, dass die Ergebnisse für den Absorptionskoeffizienten der unteren Schicht eine geringe Unsicherheit und sehr gute Übereinstimmung mit den

Nominalwerten aufwiesen. Derartige Rekonstruktionsverfahren sind eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz der zeitaufgelösten Nahinfrarotspektroskopie z. B. zur Bestimmung der Sauerstoffsättigung des Gehirns. Die Ergebnisse wurden im Journal of Biomedical Optics veröffentlicht. (H. Wabnitz, FB 8.3, heidrun.wabnitz@ptb.de)

### **Referenzmessverfahren zur Konzentrationsbestimmung von Viren im Rahmen des EMPIR-Projektes AntiMicroResist**

Im Juni 2016 ist das Projekt „AntiMicroResist“ gestartet. Im Rahmen einer Förderung durch das European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR) untersucht ein internationales Konsortium unter Beteiligung der Metrologieinstitute NPL (UK), LNE (FRA) und PTB neue Materialien und Methoden zur Detektion, Überwachung und Bewertung antimikrobieller Resistenzen. Bei chronischen Krankheiten ist eine genaue Beobachtung der Pathogene notwendig, um sich entwickelnde Resistenzen rechtzeitig erkennen zu können. Voraussetzung dafür ist eine absolute Bestimmung der Pathogenkonzentration sowie geeignetes Referenzmaterial und Konsensuswerte zur Vergleichbarkeit innerhalb verschiedener Labore. Im Rahmen des Projektes „AntiMicroResist“ wird die digitale Polymerase-Kettenreaktion (dPCR) als mögliche Referenzmethode zur Charakterisierung von Referenzmaterial und der Bestimmung von Resistenzeigenschaften während der Behandlung des Patienten evaluiert. Als eine orthogonale Methode wird die Quantifizierung fluoreszenzmarkierter Viren mittels eines hochempfindlichen Durchflusszytometers durchgeführt. (A. Plauth, FB 8.3, annabell.plauth@ptb.de; A. Kummrow, FB 8.3, andreas.kummrow@ptb.de)

### **EMRP-Projekt BioSITrace abgeschlossen**

Im Rahmen des EMRP-Projektes BioSITrace hat die PTB potenzielle primäre Referenzmessverfahren untersucht, mit denen sich Zellkonzentrationen bestimmen lassen. Dabei wurden sowohl die mikroskopische Zellzählung als auch die Durchflusszytometrie eingesetzt. Als wichtige Parameter haben sich dabei die Reinheit der verwendeten Referenzmaterialien hinsichtlich des eingesetzten Messverfahrens, die Nachweisgrenzen und die erreichbare Messunsicherheit erwiesen. Die mikroskopische Zellzählung hat gegenwärtig eine größere Messunsicherheit als die Durchflusszytometrie, was hauptsächlich durch eine größere Messunsicherheit des Probenvolumens bedingt ist. Der wesentliche Vorteil der mikroskopischen Zellzählung liegt im Potenzial der morphologischen Differenzierung, wodurch sie sich auch

für weniger reine Materialien einsetzen lässt. Es gibt zwar erste technische Ansätze, mikroskopische Zelldifferenzierung in Durchflusszytometer zu integrieren, aber diese Geräte eignen sich gegenwärtig nur für die Konzentrationsbestimmung mit sekundären Referenzverfahren. Die Ergebnisse des Projektes werden in die nationale und internationale Normungsarbeit auf dem Gebiet der Zellzählung einfließen. (J. Neukammer, FB8.3, joerg.neukammer@ptb.de; A. Kummrow, andreas.kummrow@ptb.de)

### **Simulation von Lichtstreuung an nativen roten Blutzellen**

Zum ersten Mal konnten mittels numerischer Simulationsrechnungen Lichtstreuungsmessungen aus der Durchflusszytometrie quantitativ reproduziert werden. Dabei wurde der integrierte Streuwirkungsquerschnitt von natürlich geformten roten Blutzellen für verschiedene polare Öffnungswinkel und Wellenlängen im sichtbaren Bereich gemessen. Die Lichtstreuung an den nicht-kugelförmigen roten Blutzellen wurde durch eine diskrete Dipolapproximation (DDA) modelliert und wichtige Einflussgrößen wie Teilchengröße, Form, Orientierung und Dispersion des optischen Index berücksichtigt. Dies eröffnet die Möglichkeit, aus Lichtstreuungsmessungen z. B. den Mittelwert und die Streuung der Zellvolumen zu ermitteln. (H. Groß, FB 8.4, hermann.gross@ptb.de; J. Gienger, FB 8.4, jonas.gienger@ptb.de; J. Neukammer, FB 8.3, joerg.neukammer@ptb.de)

### **Brechungsindex von menschlichem Hämoglobin: Kramers-Kronig-Rechnungen**

Zur Charakterisierung von roten Blutzellen mit optischen Methoden wie der Durchflusszytometrie ist eine genaue Kenntnis des komplexen Brechungsindex (BI) der Zellen in Abhängigkeit der Wellenlänge erforderlich. Rote Blutzellen bestehen vorwiegend aus dem Blutfarbstoff Hämoglobin (Hb) und aus Wasser, dessen optische Eigenschaften bekannt sind, ebenso das Absorptionsspektrum (Imaginärteil des BI) von Hb. Literaturdaten zum Realteil des BI von wässrigen Hämoglobinlösungen sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet.

Real- und Imaginärteil des BI sind nicht unabhängig, sondern durch Integraltransformationen verknüpft – die Kramers-Kronig-Beziehungen. Um den Realteil aus dem Absorptionsspektrum zu berechnen, wurde ergänzend das UV-Spektrum von Hb mathematisch modelliert. Daraus ergeben sich freie Modellparameter, die in einem linearen Optimierungsproblem an Literaturdaten angepasst werden. Dies resultiert in geringeren Unsicherheiten

für den BI. J(, Gienger, FB 8.4, jonas.gienger@ptb.de; H. Groß, FB 8.4, hermann.gross@ptb.de; J. Neukammer, FB 8.3 joerg.neukammer@ptb.de)

### **Numerische Simulation von Mehrphasenströmungen**

Im Rahmen des EMRP-Projektes ENG58 zur Bestimmung der Messunsicherheit bei Mehrphasenströmungen wurden in enger Zusammenarbeit mit dem tschechischen Metrologieinstitut CMI Simulationen zur Ausbildung unterschiedlicher Strömungsmuster, die je nach Zusammensetzung und Prozessbedingungen variieren können, durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulationen ermöglichen einen Blick in die gesamte Geometrie, auch an Stellen, die dem Experiment nicht zugänglich sind. Dadurch können mögliche Ursachen für auftretende Messungenauigkeiten dargestellt werden. (A. Fiebach, FB 8.4, andre.fiebach@ptb.de; E. Schmeyer, FB 8.4, ellen.schmeyer@ptb.de; S. Schmelter, FB 8.4, sonja.schmelter@ptb.de)

### **Surrogate Modell für die Ellipsometrie**

Die Ellipsometrie wird, unter Ausnutzung der wellenlängenabhängigen Polarisations-eigenschaften von strukturierten Oberflächenstrukturen, für die Charakterisierung in der Nanometrologie eingesetzt. Die Auswertung der indirekten Ellipsometrie-Messung erfordert normalerweise die Bestimmung der Lösung einer partiellen Differentialgleichung. Da dies sehr rechenintensiv ist, sind die Auswertungen entsprechend langwierig. Für dieses Problem wurde ein Surrogate-Modell entwickelt, das die entsprechende partielle Differentialgleichung ersetzt. Dadurch wird eine wesentlich schnellere Auswertung in der Ellipsometrie möglich. (S. Heidenreich, FB 8.4, sebastian.heidenreich@ptb.de)

### **Allgemeine Modelle für dichte aktive Suspensionen**

Aktive Suspensionen, wie Gruppen von Zellen oder dynamische Netzwerke aus Mikrotubuli-Filamenten, zeigen allgemeine dynamische Eigenschaften. In der Zusammenarbeit mit Kollegen aus der angewandten Mathematik am MIT und Courant Institute der NYU wurden verschiedene Kontinuum-Modelle verglichen und deren Phasendiagramme diskutiert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine große Anzahl von Musterbildungsphänomenen in aktiven Suspensionen durch nur zwei Klassen von partiellen Differentialgleichungen höherer Ordnung beschrieben werden können. (S. Heidenreich, FB 8.4, sebastian.heidenreich@ptb.de)

### **Neue Methode zur Validierung der Mess- und Kalibrierfähigkeiten von Laboratorien**

Ein wesentliches Ziel internationaler Vergleichsmessungen (key comparisons) ist die Validierung der Mess- und Kalibrierfähigkeiten der beteiligten Laboratorien. Hierfür wurde im FB 8.4 ein neues Analyseverfahren beruhend auf dem Prinzip der Bayes'schen Hypothesenprüfung entwickelt. Das Verfahren ermöglicht die Berücksichtigung von Vorwissen und erlaubt Wahrscheinlichkeitsaussagen darüber, ob die von einem Labor angegebenen Messunsicherheiten adäquat sind. Zur einfachen Anwendung des Verfahrens sind entsprechende Software-Routinen entwickelt und auf der Webseite des FB 8.4 zur Verfügung gestellt worden. (G. Wübbeler, FB 8.4, gerd.wuebbeler@ptb.de; O. Bodnar, FB 8.4, olha.bodnar@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

### **Analyse von Kalibrationskurven mit Zufallseffekten**

Die PTB-Arbeitsgruppe 8.42 hat ein neues statistisches Verfahren zur Analyse von Kalibrierkurven entwickelt, wenn zwischen unterschiedlichen Messkampagnen Zufallseffekte auftreten. Die Methode basiert auf der Bayes'schen Statistik und beinhaltet eine automatische Wahl eines geeigneten nicht-informativen Priors. Durch Anwendung der Methode kann eine vollständige Charakterisierung der Kalibration erreicht werden, was mittels einfacher „Least-squares“-Methoden nicht möglich ist. (G. Wübbeler, FB 8.4, gerd.wuebbeler@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

### **Bayes'sche Schätzung von Zufallseffekten bei Meta-Analysen**

Die Meta-Analyse auf Basis sogenannter „Random effects“-Modelle hat sich als ein gut etabliertes Werkzeug in vielen Anwendungsbereichen erwiesen, z. B. bei der Kombination von Ergebnissen verschiedener klinischer Studien in der Medizin oder bei der Beurteilung der von teilnehmenden Laboratorien angegebenen Unsicherheiten in einem Ringvergleich in der Metrologie. Für eine Bayes'sche Schätzung der realisierten Zufallseffekte ist eine neue Methode entwickelt worden. Umfangreiche Simulationsergebnisse zeigen, dass das neue Verfahren Vorteile gegenüber den bisher verwendeten Techniken aufweist. (O. Bodnar, FB 8.4, olha.bodnar@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

## Markov Chain Monte Carlo – Ein einführendes Beispiel

Die Auswertung von Posterior-Verteilungen Bayes'scher Analysen ist numerisch oft sehr aufwendig, aber notwendig (z. B. wenn der GUM nicht anwendbar ist). Markov-Chain-Monte-Carlo (MCMC)-Methoden sind eine flexible und vielseitige Möglichkeit, wie die beteiligten hoch-dimensionalen Integrale gelöst und damit Posterior-Verteilungen approximiert werden können. Die PTB hat eine knappe Einführung zu MCMC-Methoden entwickelt, die anhand eines einfachen Beispiels aus der Metrologie und wenigen Zeilen Programmcode den Einstieg in dieses mächtige Instrument ermöglicht. (K. Klauenberg, FB 8.4, katy.klauenberg@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

## Die PTB als Teil der Berliner Sicherheitsforschung

Der Fachbereich 8.5 *Metrologische Informationstechnik* wurde als Mitglied in die Fakultät der Helmholtz Research School on Security Technologies (HRSST) aufgenommen.

Die Helmholtz Research School on Security Technologies (HRSST) ist ein gemeinsames Programm der Technischen Universität Berlin und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR). Das Programm wurde 2010 ins Leben gerufen und fördert u. a. exzellente Doktoranden, die sich mit der Erforschung von Sicherheitstechnologien beschäftigen. Die HRSST möchte einen Beitrag zu Fragen der Sicherheit in wichtigen verschiedenen, sich ergänzenden Wissenschafts- und Technologiefeldern leisten. Interdisziplinäre Forschungsprojekte zielen insbesondere darauf ab, die Lücke zwischen anwendungsorientierten Sicherheitsimplementierungen und der Grundlagenforschung zu schließen.

In der Fakultät der HRSST konzentriert sich die Expertise im Bereich Sicherheitsforschung aus DLR, der Technischen Universität Berlin, der Freien Universität Berlin und der Humboldt-Universität Berlin und jetzt auch der PTB im Bereich der sicheren und vertrauenswürdigen Systemarchitekturen für das gesetzliche Messwesen. Damit wird ein Beitrag zur Integration der PTB in die Wissenschaftslandschaft Berlins geleistet. (F. Thiel, FB 8.5, florian.thiel@ptb.de)

## Spezifikation für die Implementierung und Prüfung von Software zur Berechnung von Messunsicherheiten

Der internationale Leitfaden „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (GUM, ISO/IEC Guide 98-3:2008) regelt die Angabe von Messunsicherheiten in der Messtechnik und findet in der Wissenschaft und der Wirtschaft intensive Anwendung. Der Leitfaden stellt eine Sammlung von „Best Practices“ dar, die teilweise beschreibend, teilweise mathematisch formalisiert und teilweise in Form von Beispielen dargelegt sind. Obwohl schon eine Vielzahl von in den letzten Jahren entstandenen Softwareprogrammen die Umsetzung des Leitfadens unterstützt, enthält der Leitfaden selbst keine konkreten Hinweise für die Implementierung und nachfolgende Validierung solcher Softwareprodukte. Bei der Implementierung und Validierung dieser Programme treten eine große Anzahl von implementierungstypischen Problemen und Fragestellungen auf, deren Lösung nicht expliziter Gegenstand des Leitfadens ist, sehr wohl aber wesentlich für eine GUM-konforme Implementierung und die Beurteilung der Softwareprogramme hinsichtlich ihrer Konformität mit dem GUM ist. Diese fehlenden implementierungsspezifischen Angaben und Regeln werden im Fachbereich 8.5 erarbeitet und in einem separaten Leitfaden „Spezifikation für die Implementierung und Prüfung von Software zur Berechnung von Messunsicherheiten“ zusammengestellt.

Dieser neue Leitfaden soll sowohl als Implementierungsanleitung für Softwarehersteller dienen als auch einen Prüfraum für Konformitätsbewertungen liefern.

Die entstehende Spezifikation wird auf der einen Seite den GUM abbilden (wo er ausreichend konkret ist), auf der anderen Seite aber den GUM interpretieren (wo er nicht ausreichend konkret ist) und ggf. den GUM erweitern, wo die Implementierbarkeit und Prüfbarkeit seiner Aussagen nicht vollständig gegeben ist. (Norbert Greif, FB 8.5, norbert.greif@ptb.de)

## Metrologie für die Wirtschaft

### PyDynamic – Open-Source-Software für die Analyse dynamischer Messungen

Da für dynamische Messungen grundsätzlich andere Methoden als für statische Messungen notwendig sind, stellt deren Behandlung für viele Anwender eine große Herausforderung dar. So werden bestehende mathematische und statistische Verfahren bisher fast



ausschließlich im Umfeld nationaler Metrologieinstitute angewendet. Zu diesem Zweck entwickelt die PTB-Arbeitsgruppe 8.42 zusammen mit dem National Physical Laboratory (NPL, UK) im Rahmen des EMPIR-Projekts 14SIP08 das Python-Softwarepaket PyDynamic, welches bestehende Methoden in Form von getesteter, quelloffener Software kostenfrei zur Verfügung stellt. Die erste Version von PyDynamic wurde bereits veröffentlicht und wird von mehreren Anwendern erfolgreich eingesetzt. (S. Eichstädt, FB 8.4, sascha.eichstaedt@ptb.de; N. Makarava, FB 8.4, natallia.makarava@ptb.de)

### **Bestimmung von Unsicherheiten bei Anwendung der diskreten Fouriertransformation (DFT)**

Die Fouriertransformation und ihr Gegenstück, die diskrete Fouriertransformation (DFT), sind Standardwerkzeuge in der Metrologie und Messtechnik. Obwohl nahezu alle gängigen wissenschaftlichen Softwarepakete eine Implementierung der DFT anbieten, wird die entsprechende GUM-konforme Fortpflanzung von Messunsicherheiten meistens vernachlässigt oder ignoriert. Die PTB-Arbeitsgruppe 8.42 hat zu diesem Zweck die Software GUM2DFT und ein zugehöriges Paper veröffentlicht. Die Software bietet eine effiziente Implementierung zur GUM-konformen Fortpflanzung von Messunsicherheiten für die Arbeit mit der DFT, berücksichtigt Korrelationen, verschiedene Repräsentierungen von Informationen im Frequenzbereich und nutzt die Symmetrie im Fourierspektrum reeller Signale zur speichereffizienten Implementierung aus. (S. Eichstädt, FB 8.4, sascha.eichstaedt@ptb.de; V. Wilkens, FB 1.6, volker.wilkens@ptb.de)

### **Bestimmung von Unsicherheiten bei Anwendung des Kalman Filters für die Zustandsschätzung in dynamischen Systemen**

Das Kalman Filter ist ein etabliertes Standardwerkzeug in der Schätzung von Zuständen komplexer dynamischer Systeme, wie zum Beispiel Gas- oder Stromnetzen. Voraussetzung für die Anwendung des Kalman Filters in metrologischen Anwendungen ist eine verlässliche Bestimmung der beigeordneten Unsicherheiten. Für lineare Systeme mit bekannten Modellmatrizen konnte in einer Veröffentlichung der PTB-Arbeitsgruppe gezeigt werden, dass die durch das Kalman Filter bestimmten Fehlerkovarianzmatrizen äquivalent zu einer Unsicherheitsbestimmung gemäß geltender Standards in der Metrologie sind. Für unsicher bekannte oder nichtlineare Systeme konnte dagegen gezeigt werden, dass diese Äquivalenz nicht mehr gilt. Für lineare unsicher bekannte Systeme wird stattdessen die Monte-Carlo-Methode und für nichtlineare Sys-

teme eine Anwendung Bayes'scher Schätzverfahren empfohlen. (S. Eichstädt, FB 8.4, sascha.eichstaedt@ptb.de; N. Makarava, FB 8.4, natallia.makarava@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

### **Erfolgreicher Abschluss des EMRP-Projekts IND52 „Multidimensionale Reflektometrie für die Industrie“**

Im Rahmen des von neun europäischen Partnern durchgeführten EMRP-Projektes IND52 wurden Verfahren zur verbesserten messtechnischen Charakterisierung der visuellen optischen Eigenschaften von Oberflächen entwickelt. Im FB 8.4 wurden hierfür virtuelle Experimente zur genaueren Charakterisierung der komplexen optischen Messverfahren erstellt und effiziente Aufnahmestrategien zur Bestimmung der hochdimensionalen bidirektionalen Reflektanzverteilungsfunktion (BRDF) erarbeitet. Darüber hinaus wurden Methoden für eine zuverlässige Berechnung von Messunsicherheiten für Farbkoordinaten entwickelt. (G. Wübbeler, FB 8.4, gerd.wuebbeler@ptb.de; F. Schmähling, franko.schmaehling@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

### **Neues Industrieprojekt zur Ermittlung des Gesundheitszustands von Li-Ionenbatterien**

Im Rahmen der Elektromobilität ist die schnelle Bestimmung des Gesundheitszustands der Batterien von hoher Bedeutung, insbesondere zur genauen Angabe der verbleibenden Reichweite einer Akkuladung. In einer Kooperation mit Volkswagen wird in den beiden Fachbereichen *Physikalische Chemie* und *Mathematische Modellierung und Datenanalyse* gemeinsam eine statistische Methode zur Bestimmung des Gesundheitszustands weiterentwickelt und erprobt. (G. Wübbeler, FB 8.4, gerd.wuebbeler@ptb.de; F. Schmähling, FB 8.4, franko.schmaehling@ptb.de; J. Heine, FB 3.4 u. FB 8.4, jessica.heine@ptb.de; S. Seitz, FB 3.4, steffen.seitz@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

### **Verbesserte Rekonstruktion von Farbspektren**

Die spektrale Farbmessung stellt eine grundlegende Anwendung in vielen Bereichen der Wissenschaft und Industrie dar. Multispektral messende Zeilenkameras bieten hierbei die Möglichkeit, mithilfe eines geeigneten Algorithmus, das komplette Reflexionsspektrum einer zu messenden Oberfläche in Echtzeit aufzunehmen. Im Rahmen des MNPQ-Projekts „Rekonstruktion orts aufgelöster Farbspektren“ wurde gemeinsam mit der Firma Chromasens GmbH ein Verfahren für multispektral messende Zeilenkameras entwickelt, das mithilfe von spektralen Vorinformationen Farbspektren effizient

und mit hoher Genauigkeit rekonstruiert. In einer Simulationsstudie konnte gezeigt werden, dass der verfolgte Ansatz bessere Ergebnisse liefert als herkömmliche empirische Verfahren. (M. Dierl, FB 8.4, marcel.dierl@ptb.de)

### **Neues europäisches Forschungsprojekt zur Formmessung von Asphären und Freiformflächen gestartet**

Im EMPIR-Forschungsvorhaben „Reference algorithms and metrology on aspherical and freeform optical lenses“ werden zusammen mit dem Projektkoordinator LNE und 17 weiteren Partnern neue Referenzalgorithmen und Messverfahren zur Formmessung von Asphären und Freiformflächen entwickelt.

Innerhalb der PTB wird das Forschungsprojekt gemeinsam von den Fachbereichen *Bild- und Wellenoptik* und *Mathematische Modellierung und Datenanalyse* bearbeitet. Schwerpunkte in der PTB sind die Entwicklung von metrologischen Referenzflächen, die die Vergleichbarkeit von Formmessungen verschiedener Messgeräte erleichtern werden, die Auswertung von Vergleichsmessungen zwischen den Projektpartnern sowie die Weiterentwicklung und Unsicherheitsanalyse des Tilted-Wave-Interferometers, das in der PTB für die Formmessung von Asphären und Freiformflächen eingesetzt wird. (M. Schulz, FB 4.2, michael.schulz@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

### **Abschluss des Promotionsprojekts „Sichere Messsysteme im gesetzlichen Messwesen“**

Messgeräte sind heutzutage oft leistungsstarke Computer, für die Sicherheitsstandards immer bedeutender werden. Im Rahmen des gesetzlichen Messwesens ist dies sogar zwingend vorgeschrieben. Die zusammen mit der TU Berlin entwickelte Referenzarchitektur gewährleistet die Kapselung der Kontrollmodule über einen Mikrokern. Gleichzeitig kann die Vielseitigkeit und Benutzerfreundlichkeit von Standard-Betriebssystemen für die reine Darstellung der Messwerte weiterhin genutzt werden.

Die neue, konfigurierbare Software-Referenzarchitektur kapselt die eigentlichen Betriebssysteme in Module, virtuelle Maschinen (VM) genannt. Die Betriebssysteme können weiterhin ihre üblichen Programme und Treiber laden, jedoch nur über den Mikrokern miteinander kommunizieren und auf Hardware zugreifen. Auf diese Weise kann die gut verifizierbare, weil relativ kleine Software des Mikrokerns eine Manipulation der Daten erkennen.

Die Systemarchitektur basiert auf einem modularen Design, bei dem die einzelnen virtuellen Maschinen Forderungen der Messgeräte-Richtlinie der Europäischen Union (MID) und des WELMEC 7.2 Software Guides berücksichtigen. Sie ist für alle verteilten Sensoren mit Mikrokern von Interesse, deren Daten über das Internet weitergeleitet und auf Servern weiterverarbeitet werden müssen. Unterliegen die Messgeräte dem gesetzlichen Messwesen, so können mittels des Konzeptes rechtlich relevante von rechtlich nicht-relevanten Software-Bereichen getrennt werden. Zudem wurde eine platzsparende Dateisystemstruktur entwickelt, um die Datenintegrität zu prüfen. Diese kann vom Hersteller für die Fernwartung wie auch von der Marktüberwachung zur Fernbefundprüfung genutzt werden und wurde als Patent angemeldet. (D. Peters, FB 8.5, daniel.peters@ptb.de)

### **Sichere Cloud-Referenzarchitektur im gesetzlichen Messwesen**

Das Ziel dieses Projektes ist, eine sichere Cloud-Referenzarchitektur zu erstellen, die verschiedene Anwendungsfälle für das gesetzliche Messwesen abdeckt. Im Rahmen von Technologietransferprojekten können Hersteller ihre Messgeräte im gesetzlichen Messwesen zusammen mit der PTB an dieser Referenzarchitektur ausrichten. Dies verschlankt den Zulassungsprozess und sichert die Akzeptanz der Geräte durch die Marktaufsichtsbehörden, da entsprechend einfache Prüfverfahren und eine Risikoanalyse Bestandteil der Architektur sind. Durch diese Vorgehensweise wird die Digitalisierung der Wirtschaft in einem stark regulierten Bereich durch die PTB gefördert. Die in diesem Projekt erstellten Modelle profitieren von einem modularen Design, bei dem die Forderung der Messgeräte-Richtlinie der Europäischen Union (MID) durch die Anwendung des WELMEC 7.2 Software Guide umgesetzt werden.

Zurzeit wird eine moderne Mikroservice-Architektur entwickelt, um den modularen und skalierbaren Charakter der Cloud-Referenzarchitektur gerecht zu werden. Die Vorteile gegenüber herkömmlichen monolithischen Softwarearchitekturen ergeben sich aus der gesteigerten Flexibilität und Erweiterbarkeit für die Hersteller. Diese können ohne große Mühen beliebig skaliert und somit an den jeweiligen Bedarf angepasst werden. Durch die Abschottung einzelner Services und die Fokussierung auf die notwendige Funktionalität wird die Sicherheit bereits in der Architektur verankert. Zusätzlich wird durch die Forschung an Fully-Homomorphic-Encryption

(FHE) an der Absicherung virtueller Maschinen untereinander gearbeitet bzw. das System vor einer Insider-Attacke geschützt. FHE ermöglicht eine verschlüsselte Datenverarbeitung, ohne Kenntnis von den eigentlichen Daten haben zu müssen. Durch diesen Ansatz werden zentrale Probleme des Datenschutzes und Umsetzungshemmnisse im gesetzlichen Messwesen gelöst. Die Architektur soll als Rahmenwerk dienen, um alle messrechtlich relevanten Funktionen in der Cloud sicher durchzuführen. (A. Oppermann, FB 8.5, alexander.oppermann@ptb.de)

### **Schutz eichrechtlich relevanter Software auf Messgeräten mit Betriebssystem**

Viele Messgeräte enthalten heute Komponenten, die mit einem Standard-Betriebssystem ausgestattet sind, um den Aufwand für den Hersteller zur Verwaltung der Hardware zu verringern und dem Benutzer die Bedienbarkeit zu erleichtern.

In einer Untergruppe der AG 8.51, die sich mit der eichrechtlich relevanten Konfiguration von Standard-Betriebssystemen beschäftigt, wurde im letzten Jahr ein Framework mit grundlegenden Anforderungen an die Konfiguration des Betriebssystems sowie einer daraus abgeleiteten Prüfanweisung und Herstellerempfehlung entwickelt. Diese ermöglichen es, die Konfiguration von Standard-Betriebssystemen (Windows, Linux) während einer Konformitätsbewertung systematisch zu überprüfen, um den gesetzlich geforderten Schutz des Messgerätes auf Betriebssystemebene zu erreichen. Zukünftig sollen auch Werkzeuge zur automatischen Prüfung von Konfigurationen überarbeitet und erweitert werden, um den Bearbeitungsaufwand zu verringern und damit den Prüfvorgang zu beschleunigen.

Diese Prüfanweisungen werden im Folgenden in einer PTB-Anforderung veröffentlicht werden. (R. Meyer, FB 8.5, reinhard.meyer@ptb.de)

### **Testumgebung für Messunsicherheits-Software**

Die PTB hat sich der korrekten Anwendung des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (GUM) verpflichtet. Daher wird für die Berechnung von Messunsicherheiten in den Laboratorien der PTB validierte Software eingesetzt. Zu diesem Zweck wurden vom Fachbereich 8.5 eine Testumgebung und eine Testdatenbank geschaffen, die die vollständige, detaillierte, nachvollziehbare und bei Bedarf auch vergleichende Validierung von entsprechenden Softwareprogrammen erlauben. Die Validierung umfasst dabei u. a. die folgenden Aspekte:

- Welche Abschnitte, Algorithmen, Berechnungsvarianten oder Ansätze des GUM sind in der Software umgesetzt?
- Sind die Algorithmen korrekt implementiert?
- Sind Zusatzanforderungen des GUM korrekt implementiert?
- Werden Plausibilitätsprüfungen durchgeführt?

Testumgebung und Testdatenbank sind so gestaltet, dass sie mit geringem Aufwand an neue, zu prüfende kommerzielle Softwareprogramme angepasst werden können. Bisher wurden ca. ein Dutzend verschiedene, hauptsächlich kommerzielle GUM-Programme unterschiedlicher Hersteller einer Validierung unterzogen.

Die Testumgebung hat sich insbesondere für kommerzielle Softwareprodukte bewährt. Grundsätzlich ist die Einsatzfähigkeit auch bei Java- und webbasierten Programmen erwiesen.

Eine ausführliche Beschreibung der Testumgebung und der Testdatenbank liegt in Form des PTB-Berichts IT-19 vor. (Heike Schrepf, FB 8.5, heike.schrepf@ptb.de)

## **Metrologie für die Gesellschaft**

### **EMPIR-Projekt zur Verbesserung von Diagnostik und Therapiekontrolle neurodegenerativer Erkrankungen**

Die Expertise nationaler Metrologieinstitute wird im EMPIR-Projekt NeuroMet mit klinischen und akademischen Forschungsansätzen gebündelt, um die metrologischen Barrieren bei der Diagnostik und Therapie neurodegenerativer Erkrankungen, v. a. der Alzheimer-Demenz, zu überwinden. Das Projekt trägt zu einer metrologischen Infrastruktur bei, die eine Frühdiagnose von Demenz ermöglichen soll und den Erfolg therapeutischer klinischer Studien verfolgen kann. In der PTB wird in Kooperation mit der Charité ein Ultrahochfeld-MR-Protokoll entwickelt und bei Patienten mit Alzheimer-Erkrankung und leichter kognitiver Beeinträchtigung sowie gesunden Kontrollpersonen angewendet, um Biomarker zu identifizieren und zu quantifizieren. Die hohe Empfindlichkeit und spektrale Auflösung bei 7 T erlaubt dabei eine Volumetrie des Gehirns im Submillimeterbereich und die quantitative Bestimmung von zahlreichen Metaboliten in ausgewählten Gehirnregionen. (F. Schubert, FB 8.1, Florian.schubert@ptb.de)

## **Neuronale Plastizität, induziert durch transkraniale Gleichstromstimulation**

Nichtinvasive elektrische Gehirnstimulation (transcranial direct current stimulation, tDCS) kann bei älteren Menschen das Gedächtnis verbessern. Die Effekte der Stimulation auf Neurotransmitter und funktionelle Gehirnnetzwerke werden im Kooperationsprojekt TrainStim mit der AG Kognitive Neurologie der Charité untersucht. Wissenschaftler der AG *In-vivo-MRT* der PTB messen dafür Transmitterkonzentrationen und funktionelle MR-Tomografie in Abhängigkeit von der Stimulation und im Vergleich zur Scheinstimulation. Es wurde erstmalig in älteren Versuchspersonen gezeigt, dass tDCS zu signifikant verringerten Konzentrationen des Neurotransmitters GABA führt. (F. Schubert, FB 8.1, florian.schubert@ptb.de)

## **Verbesserung der Empfindlichkeit der MR-Spektroskopie**

Die Möglichkeit, das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) in MR-Spektren durch Signal-Nachverarbeitung zu erhöhen, stößt bei stark verrauschten Spektren, z. B. aus sehr kleinen Volumenelementen im Gehirn, an ihre Grenzen. Die neuartige Kombination zweier Techniken – der nicht-wasserunterdrückten Metabolite-Cycling-Spektroskopie (MC) und der SPECIAL-Lokalisation – in „MC-SPECIAL“ erlaubt es, das SNR durch Post-hoc-Korrektur auch bei solchen Spektren zu optimieren. Der MC-Teil liefert dabei die Korrekturmöglichkeit, SPECIAL die kurze Echozeit für die Bestimmung möglichst vieler Metaboliten. Durch die neue Methode kann die räumliche Spezifität von MR-spektroskopischen Messungen und die robuste Quantifizierung von Metaboliten erhöht werden. (A. Fillmer, FB 8.1, ariane.fillmer@ptb.de)

## **Standardisierung von Messergebnissen für die Kardio-MRT**

Eine internationale Kollaboration mit Mitgliedern aus der Wirtschaft, medizinischen Forschungseinrichtungen und nationalen Metrologie-Instituten wurde 2015 gegründet, um ein Qualitätssicherungssystem zu entwickeln, das korrekte T1- und T2-Relaxationszeiten in der MR-Bildgebung sicherstellen soll. Dazu wurde ein MR-Phantom entwickelt, das die physiologisch relevanten Bereiche für beide Relaxationszeiten in der Herzbildgebung abdeckt. Kopien dieses Phantoms werden in 16 Mitgliedsinstituten des Konsortiums im Zweiwochen-Rhythmus mit unterschiedlichen Verfahren und MR-Scannern vermessen. Während die beteiligten Unikliniken ihre schnellen, aber wenig genauen Standard-Sequenzen für die T1/T2-Bildgebung einsetzen, be-

steht der Beitrag der PTB in zeitlich deutlich aufwendigeren Präzisionsmessungen. (R. Brühl, FB 8.1, ruediger.bruehl@ptb.de)

## **Europäische Zusammenarbeit bei messtechnischer Rückführung von Augentonomern**

Die Wahrung der Messgüte von Augentonomern durch Rückführung auf nationale Normale oder klinisch geprüfte Referenzmessgeräte ist entscheidend für die korrekte Diagnose und medizinische Verlaufskontrolle von Augenkrankheiten durch Messung des Augeninnendrucks. Da nicht alle europäischen NMI das Know-how und die erforderlichen Kapazitäten haben, diese metrologische Aufgabe alleine zu bewältigen, haben sich Vertreter verschiedener europäischer Metrologieinstitute (CMI, BEV, GUM, SMU, TÜBITAK, PTB) zusammengefunden, um in einem Pilotprojekt zu erkunden, ob eine Zentralisierung dieser Aufgabe zunächst auf mitteleuropäischer Ebene möglich ist. Zukünftig soll am CMI in der Tschechischen Republik ein Kompetenzzentrum für diese Aufgaben aufgebaut werden. Der PTB mit ihrer langjährigen Erfahrung auf diesem Sektor kommt dabei eine wichtige Beraterfunktion zu. (T. Schwentek, FB 8.1, thomas.schwentek@ptb.de)

## **Entwicklung und Evaluation eines „Thermal Dose“-basierten Sicherheitskonzeptes für pTx-Spulen**

Die thermische Dosis ist ein gewebespezifisches Maß, welches das Risiko einer thermisch bedingten Gewebeschädigung beschreibt. Zukünftig wird neben der maximalen lokalen spezifischen Absorptionsrate  $psAR_{10g}$  alternativ auch die thermische Dosis als Maß für die sicherheitstechnische Beurteilung von HF-Sendespulen im MRT herangezogen werden. Es wurde ein Verfahren entwickelt, um für mehrkanalige MR-Sendespulen die maximale Gewebetemperatur zu bestimmen. Mithilfe eines einfachen Modells kann die maximale gewebespezifische Temperatur im Verlauf der Messung und damit die akkumulierte thermische Dosis bestimmt werden. (F. Seifert, FB 8.1, frank.seifert@ptb.de)

## **Dritte Runde für IMAGEN**

Die 2008 begonnene europäische IMAGEN-Studie wird fortgeführt, und die ca. 2000 jetzt 21-jährigen Probanden werden in den kommenden beiden Jahren zum dritten Mal an einem umfangreichen Messprogramm teilnehmen. Alle acht beteiligten MR-Zentren aus Großbritannien, Irland, Frankreich und Deutschland nehmen weiterhin teil, wobei an drei Instituten neuinstallierte MR-Scanner zum Einsatz kommen. Mit dem Ziel der bestmöglichen



Vergleichbarkeit zu vorherigen Messungen wird das MR-Protokoll beibehalten, aber um ein inzwischen neuentwickelte Diffusionsmessverfahren (NODDI) erweitert. IMAGEN ist ein Projekt der psychiatrischen Grundlagenforschung, die Rolle der PTB besteht in der Definition und Standardisierung des MR-Messprogramms. (R. Brühl, FB 8.1, ruediger.bruehl@ptb.de)

### **Klinische Studie zur fluoreszenzgestützten intraoperativen Wächterlymphknotendetektion abgeschlossen**

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes „FluoroCam“ hat die Arbeitsgruppe *Medizinisch-optische Bildgebung* gemeinsam mit der Klinik für Gynäkologie des Virchow-Klinikums der Charité Berlin ein an der PTB entwickeltes Verfahren zur intraoperativen Erkennung von Wächterlymphknoten erprobt. Bei diesem Verfahren werden Lymphknoten in der Umgebung von Tumoren mithilfe des fluoreszierenden Kontrastmittels Indocyaningrün sichtbar gemacht. Das von der PTB aufgebaute handgeführte Kamerasystem ermöglicht dem Operateur, die Lymphknoten zu erkennen und so deren operative Entnahme zu vereinfachen. Im Rahmen der klinischen Studie wurden insgesamt 16 Patientinnen mit den Krebsarten Vulvakarzinom, Zervixkarzinom, Endometriumkarzinom und Ovarialkarzinom erfolgreich untersucht. (D. Grosenick, FB 8.3, dirk.grosenick@ptb.de)

### **Europäisches Doktorandennetzwerk „BitMap“ gestartet**

Im Rahmen des Europäischen Doktorandennetzwerks „Brain injury and trauma monitoring using advanced photonics“, BitMap, einem Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Network (ITN), sollen insgesamt 15 Doktoranden in einem internationalen und multidisziplinären Umfeld ausgebildet werden. Dem von der Universität Birmingham geführten Konsortium gehören auf dem Gebiet führende wissenschaftliche und klinische Partner sowie mittelständische Unternehmen aus 6 europäischen Ländern an. Ziel ist die Entwicklung von nicht-invasiven optischen Geräten und Verfahren, die wesentliche Informationen über den Zustand des Gehirns in der neurologischen Intensivmedizin und Überwachung liefern können, insbesondere nach Hirnverletzungen. Der „Early Stage Researcher“ in der PTB wird an Methoden zur zeitaufgelösten zerebralen Gewebeermetrie und ihrer Charakterisierung mittels Phantomen arbeiten. (H. Wabnitz, FB 8.3, heidrun.wabnitz@ptb.de)

### **Kontrolle konkurrierender Muster in generischen Modellen**

Regelmäßige Strukturen treten in Natur und Technik auch fern vom thermodynamischen Gleichgewicht auf und werden oft durch vereinfachte, generische Modelle beschrieben. In Zusammenarbeit mit dem Weierstraß-Institut für angewandte Analysis und Stochastik (WIAS) wurde an der PTB ein solches Modell untersucht. Von Interesse ist insbesondere die Kontrolle globaler Muster durch kleine, lokale Störungen. (T. Niedermayer, FB 8.4, thomas.niedermayer@ptb.de)

### **Chimären in Feldern von Zilien**

Zilien sind haarförmige Ausstülpungen biologischer Zellen und dienen zur Bewegung der umgebenden Flüssigkeit, z. B. um die Atemwege zu reinigen. Da Zilien in Reihen oder Feldern angeordnet sind, wechselwirken sie mittels der umgebenden Flüssigkeit und zeigen interessante Ordnungseffekte. Theoretische Untersuchungen an der PTB deuten darauf hin, dass dabei entgegen gängiger Theorien, die von einer global geordneten Phase ausgehen, eine sogenannte Chimäre auftritt. Dieses theoretische Konzept beschreibt die Koexistenz von Ordnung und Unordnung in ausgedehnten Systemen. (T. Niedermayer, FB 8.4, thomas.niedermayer@ptb.de)

### **Defibrillation durch kollektive Anregung des Herzwebes**

Beim Kammerflimmern breiten sich elektrische Erregungswellen chaotisch im Herzmuskel aus. Die bisher einzige wirksame Therapie dagegen ist die Defibrillation durch einen starken Elektroschock, der jedoch das Herzgewebe schädigen kann. Vor Kurzem wurde in vivo gezeigt, dass die sukzessive Applikation mehrerer schwacher Pulse zur schonenden Defibrillation genutzt werden kann. An der PTB wurde durch numerische Simulationen erforscht, wie die schwachen Pulse kollektiv das Herzgewebe anregen. (P. Buran, FB 8.4, pavel.buran@ptb.de; T. Niedermayer, FB 8.4, thomas.niedermayer@ptb.de)

### **Dreidimensionales Modell für durch Mikrofibröse induzierte irreguläre elektrische Dynamik in Herzmuskelgewebe**

In Kooperation mit Kollegen der UPC Barcelona und der Universität Juiz de Fora (Brasilien) konnte der Einfluß der Schichtdicke des Herzgewebes auf das Auftreten irregulärer elektrischer Dynamik (Arrhythmien) in einem diskreten, zellbasierten Modell mit heterogen verteilten interzellulären Kopplungen demonstriert werden. Die dritte Dimension kann dabei je nach physiologischen Bedingungen

zu Anstieg oder Abnahme der Häufigkeit von Arrhythmien führen. Zudem wurde der bereits in zwei Dimensionen gefundene Zusammenhang zwischen dem Auftreten von heterogenitätsinduzierten Arrhythmien und der Perkolationschwelle bestätigt. Daraus folgt, dass elektrische Propagation in drei Dimensionen deutlich robuster gegenüber Defekten in der Kopplung zwischen Zellen ist als in zwei Dimensionen. (M. Bär, FB 8.4, markus.baer@ptb.de)

## **PTB-Seminar zur Berechnung der Messunsicherheit in der Praxis**

Am 17. und 18. März 2016 fand in der PTB-Berlin zum fünften Mal das Helmholtz-Seminar „Berechnung der Messunsicherheit – Empfehlungen für die Praxis“ statt. Die Veranstaltung wendet sich an Mitarbeiter in Prüf- und Kalibrierlaboratorien und wird gemeinsam mit der BAM und dem DAkkS durchgeführt. 126 Besucher nahmen teil. Im März 2018 ist die nächste Veranstaltung geplant. (S. Mieke, FB 8.4, stephan.mieke@ptb.de; K. Klauenberg, FB 8.4, katy.klauenberg@ptb.de)

## **Einrichtung des Arbeitskreises „Statistik für das Mess- und Eichrecht“**

Zur Unterstützung des gesetzlichen Messwesens bei statistischen Fragestellungen wurde der PTB-Arbeitskreis (AK) *Statistik für das Mess- und Eichrecht* eingerichtet. Als erste Aufgabe hat der AK die Entwicklung von Stichprobenplänen für Verbrauchsmessgeräte veranlasst, um den §35 der neuen Mess- und Eichverordnung umzusetzen. Vertreter von Eichbehörden, Prüfstellen, Konformitätsbewertungsstellen, Versorgungsunternehmen sowie Verbänden der Verbrauchsgüter Gas, Wasser, Wärme und Elektrizität trafen sich im Juni mit PTB Fachexperten, um über neue Stichprobenpläne, die erhöhte Anforderungen des §35 erfüllen, zu diskutieren. Diese Stichprobenpläne werden derzeit noch effizienter und gleichzeitig sicherer gestaltet, um die Belastung für Gerätebetreiber zu senken und den Verbraucherschutz noch stärker zu gewährleisten. (K. Klauenberg, FB 8.4, katy.klauenberg@ptb.de)

## **Stichprobenpläne zur Überwachung von Verbrauchsmessgeräten**

Der § 35 des neuen Mess- und Eichgesetzes regelt die Verlängerung der Eichfrist von Verbrauchsmessgeräten aufgrund von Stichprobenverfahren. Das Stichprobenverfahren soll neuerdings sicherstellen, dass mindestens 95 % der Messgeräte richtig funktionieren, und dies soll für den gesamten Verlängerungszeitraum gelten (statt bisher nur zum Prüfzeitpunkt). Für diese höheren Anforderungen hat die PTB-Arbeitsgruppe 8.42 ein neues Verfah-

ren entwickelt, das die Bestimmung solcher Stichprobenpläne praxisnah und ähnlich wie bisher ermöglicht. (K. Klauenberg, FB 8.4, katy.klauenberg@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

## **Quantifizierung der Bildqualität am CT mittels „task specific quality assessment“**

In einem gemeinsamen Forschungsvorhaben der beiden Abteilungen *Ionisierende Strahlung* und *Medizinphysik* soll die Qualität von Bildern am CT quantifiziert werden. Ziel ist es, eine bessere Beurteilung und Vergleichbarkeit unterschiedlicher Geräte und Rekonstruktionsverfahren zu ermöglichen. Basis für die Beurteilung sind sogenannte „model observer“, die eine automatische Klassifikation von Bildern durchführen. In einem ersten Schritt des Vorhabens werden Unsicherheitsanalysen für die Güte dieser Verfahren durchgeführt und mittels realer Messungen erprobt. (M. Anton, FB 6.2 mathias.anton@ptb.de; M. Reginatto, FB 6.4, marcel.reginatto@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

## **Neues statistisches Verfahren für die Strahlenschutzdosimetrie**

Die beiden Abteilungen *Ionisierende Strahlung* und *Medizinphysik* entwickeln gemeinsam neue statistische Verfahren zur Analyse von Strahlungsmessungen. Bei der Entwicklung werden Techniken der Bayes'schen Statistik eingesetzt, mit denen die Information aus einer vorangegangenen Messung der Hintergrundstrahlung besser berücksichtigt werden kann. In einem ersten Ergebnis wurde ein Verfahren erarbeitet, das sensitiver ist als die in den aktuellen Normen empfohlenen Analysemethoden. (O. Bodnar, FB 8.4, olha.bodnar@ptb.de; R. Behrens, FB 6.3, rolf.behrens@ptb.de; C. Elster, FB 8.4 clemens.elster@ptb.de)

## **Neue Herausforderungen für die Arbeitsgruppe 8.51 Metrologische Software**

Am 30.9.2016 wurde der langjährige Leiter der Arbeitsgruppe 8.51 *Metrologische Software* Ulrich Grottker in den wohlverdienten Ruhestand verabschiedet.

Die Arbeitsgruppe steht nun gleich vor mehreren Herausforderungen:

Zum ersten ist für die Arbeitsgruppen der PTB die Baumusterprüfungen im Rahmen von Konformitätsbewertungen im gesetzlichen Messwesen durchzuführen und aufgrund der wachsenden Nachfrage auszubauen. Dazu wird eine kurzfristige Verfügbarkeit eines Softwareansprechpartners für laufende Herstellergespräche sichergestellt. Ähnlich wie in

anderen Arbeitsgruppen mit Kontakt zu externen Kunden wird es zukünftig eine Funktions-E-Mail-Adresse (softwaretest@ptb.de) sowie einen zentralen Ansprechpartner der Arbeitsgruppe 8.51 für eingehende Prüfaufträge geben.

Zum zweiten stehen Anpassungen der einschlägigen Anforderungsdokumente an, um sie mit dem Stand der Technik mitzuführen. Dazu gehören die Revision der OIML D31 sowie weitere Anpassungen des WELMEC Guides 7.2 Software. Letzterer soll dabei durch Umstrukturierungen und Ergänzungen technologieoffener und flexibler werden. Gleichzeitig werden neben einem Anforderungsdokument für Messgeräte mit Betriebssystem neue Leitfäden für Softwareprüfer im gesetzlichen Messwesen erstellt. Diese sollen sich zunächst mit der Interpretation der nationalen Anforderungen an Softwareaktualisierungen und mit Anforderungen an die Softwaretrennung beschäftigen.

Zum dritten liefert die Arbeitsgruppe vorläufige Antworten für wesentliche Innovationen in dem sich schnell entwickelnden Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie im gesetzlichen Messwesen. Dabei wird die Arbeitsgruppe sowohl an Ringvergleichen und der Weiterentwicklung bestehender Methoden beteiligt sein als auch an der Untersuchung neuer Methoden mitwirken und durch ihre Gremienarbeit auch auf eine Standardisierung der erarbeiteten Verfahren hinwirken. Abschließend lässt sich festhalten, dass die Arbeitsgruppe für die anstehenden Herausforderungen gut aufgestellt ist. (M. Esche, FB 8.5, marco.esche@ptb.de)

### **Softwareaktualisierung auf Messgeräten im Rahmen des neuen Mess- und Eichgesetzes**

Mit dem Inkrafttreten des Mess- und Eichgesetzes (MessEG) wurde erstmalig die gesetzliche Grundlage geschaffen, bei Messgeräten und Messsystemen Software nach dem Inverkehrbringen der Messgeräte ohne Siegelbruch und ohne vorzeitiges Erlöschen der Eichgültigkeit zu aktualisieren. Hierbei sind einerseits formale und andererseits technische Randbedingungen und Anforderungen des Gesetzes einzuhalten.

Technische Anforderungen an diese Art von Messgeräten werden zurzeit in der Arbeitsgruppe 8.51 *Metrologische Software* entwickelt und ausformuliert und im Anschluss in Form einer PTB-Anforderung dem Regelermittlungsausschuss zur Ermittlung vorgelegt. Europäisch harmonisierte Anforderungen nach dem WELMEC Guide 7.2 „Software“ werden

mit den nationalen Anforderungen verglichen und fließen bei Übereinstimmung mit ein.

Der mit dem Mess- und Eichgesetz neu eingeführte Begriff „zugehörige Software, die neben der Messfunktion weitere Funktionen erfüllt“ bezieht sich auf das Vorhandensein einer Softwaretrennung innerhalb der Messgeräte: Der Softwarebereich, der rechtlich relevante Funktionen ausführt, muss durch Schutzmechanismen gekapselt sein. Ist dies der Fall und wurde dies auch explizit durch die Konformitätsbewertungsstelle bestätigt, kann sonstige zugehörige Software auch ohne Genehmigung einer zuständigen Stelle aktualisiert werden. Auch hier werden seitens der Arbeitsgruppe 8.51, im Rahmen von PTB-Anforderungen, Anforderungen an Messgeräte mit Softwaretrennung erarbeitet. (M. Elfroth, FB 8.5, marco.elfroth@ptb.de)

### **Erste Erfahrungen mit der Zulassung neuer Spielgeräte-Bauarten nach TR 5.0**

Die Spielverordnung (SpielV) regelt die Voraussetzungen für die Zulassung von Geldspielgeräten. Durch eine Novellierung der SpielV Ende 2014 wurden vom Gesetzgeber neue Anforderungen definiert, um den Spielerschutz und die Sicherheit von Geldspielgeräten weiter zu stärken. Hierzu zählt unter anderem die Verwendung eines Identifikationsmittels zur Freischaltung von Geldspielgeräten. Dieser Bericht beschreibt die ersten Erfahrungen der PTB in der Zulassung bzgl. dieser neuen Maßnahme.

Der Gesetzgeber hat für das Identifikationsmittel keine konkrete Form oder Ausprägung vorgegeben, sondern eine Reihe von Kriterien festgelegt, um Technologieoffenheit zu gewährleisten. Die Kriterien sind im §13 Nr. 10 SpielV festgelegt und umfassen folgende Forderungen:

- Der Spielbetrieb ist nur unter ständiger Verwendung eines Identifikationsmittels möglich.
- Das Identifikationsmittel muss gültig, gerätegebunden und personenungebunden sein.
- Die Gültigkeit muss vor der Aufnahme des Spielbetriebes geprüft werden.
- Im Spielbetrieb dürfen keine Daten auf dem Identifikationsmittel gespeichert werden.

Der Spieler kann unter Verwendung eines Identifikationsmittels den Spielbetrieb freischalten. Hierzu werden vom Gerät die Gültigkeit sowie die Geräte-

gebundenheit des Identifikationsmittels überprüft. Ferner darf es keine Rückschlüsse auf den Spieler zulassen. Sind diese Bedingungen erfüllt, wechselt das Gerät in den Spielbetrieb. Zur Verhinderung eines „Spielertrackings“ dürfen im Spielbetrieb keine Daten auf dem Identifikationsmittel gespeichert werden bzw. keinerlei Daten dem Spieler zugeordnet werden. Wird das Identifikationsmittel entfernt, muss der Spielbetrieb beendet werden, und das Geldspielgerät kehrt in den Pause-Zustand zurück.

Hersteller von Geldspielgeräten treten mit neuen Lösungen an die PTB heran. Die PTB unterstützt innovative Ansätze, die nachweislich die gesetzlichen Anforderungen erfüllen. (G. Thomas, FB 8.5, gervin.thomas@ptb.de)

### Internationale Angelegenheiten

#### 9<sup>th</sup> International Workshop on Analysis of Dynamic Measurements (DYNAMIC2016)

Im Rahmen der Projekte EURAMET TC-1078 und MATHMET Dynamic organisiert die PTB Arbeitsgruppe 8.42 zusammen mit dem National Physical Laboratory (NPL), Großbritannien, und dem Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), Frankreich, seit 10 Jahren eine Workshopreihe, welche Wissenschaftler nationaler Metrologieinstitute, Universitäten und Industrie zusammenbringt, die auf dem Gebiet dynamischer Messungen arbeiten. Der 9. Workshop dieser Reihe wurde von der PTB Berlin erfolgreich mit über 40 Teilnehmern aus 17 Nationen ausgetragen. (S. Eichstädt, FB 8.4, sascha.eichstaedt@ptb.de)

#### Kooperation mit COOMET

Im Rahmen einer Kooperation mit COOMET wurde der Vortrag „Ermittlung der Unsicherheit bei der Anpassung von Fundamentalkonstanten“ beim 13. internationalen wissenschaftlichen und technischen Seminar „Uncertainty of measurement: scientific, applied, regulatory and methodical aspects (UM-2016)“ gehalten. Ferner wurde beim parallel stattfindenden „Ausbildungsseminar für junge Metrologen COOMET: Schätzungen der Genauigkeit und der Unsicherheit bei der Messung“ der Beitrag „Bewertung des Referenz Prior und seine Anwendung für Bayes'sche Schätzung vom Generalized Marginal Random Effects Model“ vorgestellt. (O. Bodnar, FB 8.4, olha.bodnar@ptb.de)

#### MATHMET 2016 - International Workshop on Mathematics and Statistics for Metrology

Nach 2012 und 2014 fand 2016 zum 3. Mal der Workshop „MATHMET 2016 - International Workshop on Mathematics and Statistics for Metrology“ an der PTB Berlin statt. Die Veranstaltung wurde gemeinsam mit NIST, SIM und EURAMET organisiert. In mehr als 30 Vorträgen von Sprechern aus Europa und Übersee wurden an 3 Tagen aktuelle mathematische und statistische Fragestellungen in der Metrologie diskutiert. Der Workshop ist zugleich die erste Aktivität des in 2016 gegründeten Zentrums „MATHMET: The European Centre for Mathematics and Statistics in Metrology“. (M. Bär, FB 8.4, markus.baer@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

#### Bayes'sche Datenanalyse auf der Statistischen Woche 2016

Auf der internationalen Konferenz „Statistical Week“, die im September 2016 in Augsburg stattfand, gab es erstmals eine eigene Sektion zum Thema „Bayes'sche Datenanalyse“. Die PTB war eingeladen worden, diese Sektion zu organisieren. Die Resonanz auf diese Sektion war erfreulich groß und es konnten drei einzelne „Sessions“ mit mehreren internationalen Beiträgen durchgeführt werden. Die PTB war dabei mit zwei Vorträgen vertreten. (O. Bodnar, FB 8.4, olha.bodnar@ptb.de; FB 8.4 clemens.elster@ptb.de)

#### Europäisches Projekt zur Risikoanalyse für Software im gesetzlichen Messwesen

Nach dem Inkrafttreten der neuen europäischen Messgeräte Richtlinie (Measuring Instruments Directive 2014/32/EU) gilt seit dem 20.4.2016 eine neue Anforderung an Messgeräte. Für diese muss vom Hersteller eine angemessene Risikoanalyse durchgeführt werden.

Der Fachbereich 8.5 hat eine Risikoanalysemethode für Software entwickelt, die von Messgeräteherstellern genutzt werden kann, um die entsprechend geforderte Risikobewertung anzufertigen. Dabei besteht der Vorteil in der Vergleichbarkeit von Risikoanalysen und der Gleichbehandlung aller Hersteller unabhängig von der Geräteart. Mit dem Ziel, dieses Vorgehen auch europaweit zu harmonisieren, hat eine Projektgruppe der WELMEC-Arbeitsgruppe 7 „Software“ im Januar 2016 damit begonnen, einheitliche Anforderungen an eine Risikoanalyse zu formulieren. Diese Tätigkeit wurde nun in einen Antrag für ein europäisch gefördertes EMPIR-Projekt überführt. Ein Konsortium aus Benannten Stellen, Universitäten, außeruniversitären Forschungsein-



richtungen und Herstellerverbänden widmet sich darin zunächst der Validierung des an der PTB entwickelten Verfahrens. Dazu werden Ringvergleiche anhand realer und abstrakter Messgeräte zwischen den Partnern durchgeführt, das existierende Verfahren ggf. angepasst und verbessert. Weiterhin soll das Verfahren einer Praxiserprobung unterzogen werden.

In einem zweiten Schritt wird ein Verfahren erarbeitet, das auch auf komplexe Systeme anwendbar sein soll, die ggf. mehrere Messgeräte umfassen. Dabei soll auch die menschliche Einflussnahme durch Bediener und andere Betroffene berücksichtigt werden. Im Anschluss daran wird das Konsortium akzeptable technische Lösungen identifizieren und sammeln, die ein adäquates Schutzniveau für unterschiedliche Messgeräteklassen im Sinne der Messgeräte Richtlinie darstellen. Damit soll unter anderem der Einsatz neuer Technologien im gesetzlichen Messwesen, wie er von Herstellern vielfach gefordert wird, erleichtert werden. Neben der Weiterentwicklung und Erprobung der Risikoanalyseverfahren stellt die Standardisierung der Methoden ein zentrales Standbein des Projektes dar. Dazu sollen die Verfahren in die einschlägigen Normungs- und Harmonisierungsgremien (CEN/CENELEC, WELMEC, OIML) eingebracht werden. (M. Esche, FB 8.5, marko.esche@ptb.de)