

Metrologie für die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft | 2020





Metrologie für die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft | 2020

Inhalt

Metrologie für die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft | 2020

▪ Digitale Transformation: Kernziele der PTB	3
▪ <i>Kernziel 1</i> – Die PTB will auch in einer digitalisierten Welt die Einheitlichkeit im Messwesen sicherstellen.....	4
▪ <i>Kernziel 2</i> – Die PTB beteiligt sich an der nachhaltigen Nutzbarkeit von Forschungsergebnissen und Daten	4
▪ <i>Kernziel 3</i> – Die PTB entwickelt ganzheitliche Konzepte für die Behandlung von Messgeräten und Messdaten	5
▪ <i>Kernziel 4</i> – Die PTB unterstützt den effizienten und sicheren Einsatz digitaler Technologien	5
▪ <i>Kernziel 5</i> – Die PTB fördert die aktive Teilhabe aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an der Digitalisierung.....	6
▪ Digitale Transformation metrologischer Dienstleistungen	7
▪ Forschungsschwerpunkte in der Digitalisierung	10
▪ Zusammenfassung und Ausblick	12

Metrologie für die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft | 2020

Wir befinden uns inmitten einer digitalen Revolution. Und sie ist disruptiv: Vieles was gestern noch üblich und sinnvoll war, ist heute überholt, muss schneller, flexibler, transparenter werden. In Haushalten, Handel und Industrie – überall entstehen neue Möglichkeiten durch digitalen Datenverkehr. Das Internet of Things (IoT) treibt diese Entwicklung rasend schnell voran: Maschinen sind durch digitale Schnittstellen miteinander verbunden und tauschen Informationen direkt miteinander aus; ganze Produktionsabläufe sind bereits vollständig vernetzt oder haben digitale Zwillinge in der Cloud – Stichwort Industrie 4.0; auch neue Messgeräte sind teilweise untrennbar mit digitaler Technik und automatisierter Datenverarbeitung verzahnt. Dadurch entstehen gewaltige Datenmengen, deren Auswertung neue Möglichkeiten der Kommunikation und neue Geschäftsfelder ermöglicht. Die immer schneller voranschreitende Entwicklung von Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) wirken dabei wie ein Katalysator und beschleunigen die digitale Transformation zusätzlich.

Dieser Umbruch fordert das ausgeklügelte System der Qualitätsinfrastruktur (QI), bestehend aus Metrologie, Akkreditierung, Konformitätsbewertung, Normen & Standards und Marktüberwachung, in hohem Maße heraus. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) als das Nationale Metrologie-Institut Deutschlands spielt eine Schlüsselrolle in der Ertüchtigung QI für eine digitalisierte Welt. Dafür hat die PTB unter dem Dach einer umfassenden Digitalisierungsstrategie alle dazu notwendigen Instrumente gebündelt – von Digitalen Kalibrierzertifikaten und virtuellen Messgeräten über Forschungsdatenmanagement bis zu digital unterstützten Prüf- und Zulassungsprozessen mit einem Datenhandling ohne Medienbrüche. Diese stellen die Basis dar für die bereits begonnen Arbeiten zu komplexen vernetzten Systemen und zu Methoden der Künstlichen Intelligenz.

Die Digitalisierungsprojekte umfassen inzwischen alle Bereiche der PTB – von der Verwaltung, über die Forschung bis zum täglichen Miteinander. Darunter fallen aktuelle Entwicklungen zu einem digitalen Kundenportal und der E-Akte ebenso wie Metrologie für KI, Forschungsdatenmanagement und digitale Zertifikate und Prozesse in der Qualitätsinfrastruktur. Das macht die Vernetzung und Verzahnung dieser Entwicklungen umso wichtiger. Der Lenkungskreis Digitalisierung (LK-D) zusammen mit der Arbeitsgruppe „Koordination Digitalisierung“ im Präsidialen Stab der PTB stellen genau dies sicher.

In der hier vorliegenden Studie werden ausschnittsweise die aktuellen Fortschritte umrissen und ein Ausblick auf kommende Entwicklungen gegeben. Nicht zuletzt durch die aktuelle Pandemiesituation ist dabei die digitale Transformation von Arbeits- und Kommunikationsprozessen stärker in den Fokus gerückt. Gleichzeitig sind beispielsweise auch in der Forschung zahlreiche neue Vorhaben gestartet worden. Insbesondere die Ertüchtigung der Qualitätsinfrastruktur für digitale Innovationen und die innovative Nutzung digitaler Technologien in der Qualitätsinfrastruktur stehen für die PTB dabei im Mittelpunkt – also die Entwicklung einer interoperablen „QI-Digital“, die gerüstet ist für eine digitalisierte Welt.

Digitale Transformation: Kernziele der PTB

Die digitale Transformation ist ein fortlaufender Prozess, mit sich ständig ändernden Schwerpunkten. Die PTB orientiert sich daher für ihre Aktivitäten in der Digitalisierung an 5 Kernzielen. Diese dienen als Orientierung und Leitplanken bei der Entwicklung neuer Vorhaben und Ideen. Gleichzeitig dienen sie als Ankerpunkte für die Kommunikation der langfristigen Ziele und Vorstellungen einer Metrologie für die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft.

Kernziel 1 – Die PTB will auch in einer digitalisierten Welt die Einheitlichkeit im Messwesen sicherstellen

Die Qualitätsinfrastruktur (QI) in Deutschland ist ein wesentlicher Garant des wirtschaftlichen Erfolgs und basiert auf dem Zusammenspiel von Metrologie, Standardisierung, Akkreditierung, Konformitätsbewertung und Marktüberwachung. Dabei spielt die PTB als das Nationale Metrologieinstitut Deutschlands eine ganz wesentliche Rolle. Zu ihren gesetzlichen Kernaufgaben gehört die Sicherstellung der Einheitlichkeit des Messwesens nach dem Einheiten- und Zeitgesetz – insbesondere die Weitergabe der Maßeinheiten im Sinne der messtechnischen Rückführung. Die PTB ist Garant für die Sicherstellung von Messrichtigkeit, Messbeständigkeit und Prüfbarkeit und unterstützt die internationale Harmonisierung in diesen Bereichen stark. Im Zuge der Digitalisierung ergeben sich hierbei eine Vielzahl neuer Herausforderungen, denen sich die PTB aktiv stellt.

Ein Beispiel, welches einen großen Einfluss auf die Wirtschaft und Gesellschaft hat, ist die Digitalisierung der Energiewende. Ohne Smart Grids, die das Zusammenspiel dezentraler Energieversorgung digital unterstützen, wird eine erfolgreiche Energiewende schwer möglich sein. Ein wichtiger Baustein in diesem Prozess sind verlässliche Messungen von Verbräuchen und Netzparametern sowie deren Kommunikation über digitale Infrastrukturen. Der Anfang 2020 formal gestartete Roll-out von Smart Meter Gateways (SMGW) ist hierfür ein wichtiger erster Schritt. Das SMGW vereint metrologische, eichrechtliche und sicherheitsbezogene Anforderungen. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit für eine starke interdisziplinäre Zusammenarbeit und effektive Koordination.

Um auch in einer digitalisierten Welt die Einheitlichkeit im Messwesen zu gewährleisten, entwickelt die PTB beispielsweise Digitale Kalibrierzertifikate (Digital Calibration Certificate – DCC), erforscht im Kompetenzzentrum Metrologie für virtuelle Messgeräte (VirtMet) die Vergleichbarkeit von realen und virtuellen Messungen und entwickelt objektive Bewertungsmethoden für maschinelles Lernen und Methoden der künstlichen Intelligenz (KI). In allen Bereichen hat die PTB in den letzten beiden Jahren enorme Fortschritte gemacht. Für den DCC liegt inzwischen eine stabile Version vor, auf dessen Grundlage nun die Abstimmungen mit internationalen Partnern aus Metrologie, Forschung und Industrie begonnen wurden. In VirtMet wurden mehrere abteilungsübergreifende Projekte gestartet und erste Erfolge erzielt. Für die Bewertung von KI-Methoden wurden vor allem für Anwendungen in der Medizin zahlreiche Vorhaben gestartet und erste Verfahren publiziert.

Kernziel 2 – Die PTB beteiligt sich an der nachhaltigen Nutzbarkeit von Forschungsergebnissen und Daten

Eine datengetriebene Forschung und Wirtschaft sind nur umsetzbar, wenn verlässliche Daten zugänglich und nachhaltig verwendbar sind. Entsprechend verlangen Forschungsförderer in zunehmendem Maße, dass die Forschungsergebnisse sachgerecht dokumentiert, langfristig archiviert und öffentlich zugänglich gemacht werden. Diese Anforderungen an das Datenmanagement werden mit dem Akronym FAIR Data zusammengefasst: Daten sollten auffindbar (Findable), zugänglich (Accessible), interoperabel (Interoperable) und nachnutzbar (Reusable) sein. Auf diese Weise können bereits ausgewertete und publizierte Daten dann die Grundlage für neue Fragestellungen und Forschungsarbeiten bilden. Diese Grundsätze finden zunehmend auch Eingang in die Wirtschaft, wo mit GAIA-X eine entsprechende Daten-Infrastruktur aufgebaut werden soll. Die PTB ist hier von Beginn an aktiv beteiligt und arbeitet an der Weiterentwicklung der Metrology Cloud für eine Integration von GAIA-X und einer „QI-Digital“. So soll die Basis gelegt werden für eine auf der Metrology Cloud basierende „QI-Cloud“. Diese verbindet die Akteure in der QI, digitalisiert regulierte Prozesse und ermöglicht so neue Wertschöpfungen und die Ausnutzung von Synergieeffekten.

Im Wissenschaftsbereich sind die Pendant die Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) und die European Open Science Cloud (EOSC). Bei der NFDI beteiligt sich die PTB im Bereich der Standardisierung von Metadaten, Datenqualität und persistenten Identifikatoren für Daten. Als Mitglied im NFDI Verein werden diese Aktivitäten deutlich ausgebaut werden. Bei der EOSC beteiligt sich die PTB im Rahmen ihrer Aktivitäten in EURAMET – der europäischen Metrologieorganisation. Hier koordiniert die PTB das Projekt TC-IM 1449 mit dem Ziel, Forschungsdaten der europäischen Kooperationsprojekte gemäß der FAIR-Prinzipien bereitzustellen und eine Kooperation von EURAMET und der EOSC voranzutreiben.

Insgesamt verfolgt die PTB das Ziel einer datenbasierten Forschung und Entwicklung mit gesicherter Qualität und Reproduzierbarkeit. Aus diesem Grund beschäftigt sich die PTB unter anderem mit einem umfassenden Konzept für das Forschungsdatenmanagement, der Entwicklung und Umsetzung eines Software Quality Framework, der Einführung eines elektronischen Laborbuchs und der konsistenten Nutzung von Metadaten und Vokabular im digitalen Umfeld. So erhalten Forschende in der PTB im Rahmen individueller Beratungen auf Wunsch Informationen zu allen mit dem Forschungsdaten-

management verbundenen Aufgaben: Erstellung von Datenmanagementplänen, Dokumentation der Arbeitsschritte, Datenaufbewahrung, Datenveröffentlichung sowie Auswahl von Datei- und Metadatenformaten.

Das Rückgrat für alle Daten in der industriellen und gesetzlichen Metrologie weit über die Grenzen Deutschlands und Europas hinaus bildet das Internationale Einheitensystem (SI), an dessen Entwicklung die PTB seit über 100 Jahren aktiv beteiligt ist. Es ist beispiellos die Mutter aller international akzeptierten, interoperablen und wiederverwendbaren Daten. 2019 ist es der PTB mit ihren Partnern aus Industrie und Forschung gelungen, ein universelles Metadatenmodell (D-SI) für smarte metrologische Daten auf der Basis des SI abzustimmen. Dieses ist der Schlüssel für Messdatenformate, die in neuen digitalen Umgebungen wie dem Internet of Things (IoT) und Cyber-Physikalischen Systemen Bestand haben sollen und insbesondere fehlerfrei von Maschinen sowohl als auch von Menschen verstanden werden müssen. Digitalanwendungen, wie im Gesundheitsbereich oder bei Verbrauchszählern, wären schlicht undenkbar, wenn ihre Zuverlässigkeit nicht gesichert wäre. Das D-SI findet bereits umfangreiche Verwendung in den europäischen Leuchtturmprojekten SmartCom und GEMIMEG-II zu maschinenlesbaren Digitalen Kalibrierscheinen. Weltweit einzigartig ist zudem die PTB Online-Zertifizierung für die Anwendung des D-SI, welche die maschinennutzbare TraCIM-Plattform einsetzt, die in der Koordinatenmesstechnik bereits seit vielen Jahren etabliert ist.

Für die Zukunft blickt die internationale Metrologiewelt auf die weitere Abstimmung smarter metrologischer Datenformate durch die Meterkonvention – dem als CIPM bekannten Verbund aus 62 Mitgliedsstaaten und 40 assoziierten Staaten, die weltweite Standards wie das SI definieren. In leitender Position in zwei in 2019 neu gegründeten Komitees des CIPM zum „Digital-SI“ bringt die PTB die Entwicklungen aktiv voran. Im Oktober 2020 wurde vom CIPM ein von den Komitees vorgelegtes gemeinsames Konzept für digitale Daten, Dienstleistungen und Werkzeuge auf der Basis des SI befürwortet und die Nationalen Metrologieinstitute wie die PTB dazu ermutigt, diese Entwicklung weiter voran zu bringen (Entscheidung CIPM/109-17). Mit diesem internationalen Auftrag wird die PTB auch in Zukunft Teile Ihrer Forschung und Entwicklung auf die internationale Harmonisierung unter dem CIPM ausrichten und damit verknüpfen.

Kernziel 3 – Die PTB entwickelt ganzheitliche Konzepte für die Behandlung von Messgeräten und Messdaten

Neue Messgeräte enthalten häufig verteilte, teilweise virtualisierte Komponenten und nutzen Cloud-Services. Doch in regulierten Bereichen sind die Hürden in Bezug auf Zulassung und Konformitätsbewertung hoch, wenn Messgeräte solche modernen Kommunikations- und Informationstechniken beinhalten. Hersteller sehen dadurch zunehmend ein Innovationshemmnis und befürchten langfristige Wettbewerbsnachteile. Daher sind in einer digital vernetzten Wirtschaft und Industrie ganzheitliche Konzepte für den Umgang mit Messdaten und die Vernetzung von Messgeräten notwendig. Das schließt auch ein, dass diese Konzepte den Anforderungen des gesetzlichen und industriellen Messwesens genügen müssen. Bisher sind diese beiden Bereiche weitestgehend getrennt in ihrer metrologischen Behandlung, da sie verschiedenen rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen unterliegen. Im Zuge der digitalen Transformation verschwimmen diese Grenzen jedoch zusehends, da ähnliche Komponenten eingesetzt werden und Daten teilweise über die Grenzen der beiden Bereiche hinweg Verwendung finden sollen.

Die Berücksichtigung eines geeigneten Datenmodells für die Kommunikation der Messdaten, die Anbindung zum Beispiel an die Metrology Cloud sowie die effiziente Verwendung digitaler Informationen über das Messgerät sollten idealerweise schon bei seiner Entwicklung berücksichtigt werden; also: „*Metrology by design*“. Mit ihren Aktivitäten zum D-SI, der Metrology Cloud und digitalen Zertifikaten für die Kalibrierung und Konformitätsbewertung unterstützt die PTB aktiv die Entwicklung dieses Prinzips. Mit dem Aufbau eines Demonstrators zur Integration von digitalen Zertifikaten in digitalen Prozessen auf Basis der Metrology Cloud hat die PTB bereits mit der tatsächlichen Umsetzung begonnen. Außerdem beteiligt sich die PTB mit dem VDMA an der Umsetzung des Datenmodells D-SI in dem Kommunikationsstandard OPC-UA für Anwendungen in Industrie 4.0 und mit der NAMUR an Standards in der Chemie. Die große Bandbreite der Themenfelder der PTB spiegelt sich auch in diesen vielfältigen Kooperationen in der digitalen Transformation wider.

Kernziel 4 – Die PTB unterstützt den effizienten und sicheren Einsatz digitaler Technologien

Die PTB entwickelt und verwendet digitale Technologien sowohl für ihre eigenen Arbeitsabläufe als auch für die Prozesse in der Qualitätsinfrastruktur. Dabei betrachtet sie die Konzepte „security and privacy by design“ als unverzichtbar für die Sicherung von Vertrauen. Das bedeutet, dass bei der Entwicklung von Hard- wie Software bereits von Anfang an einerseits der Datenschutz berücksichtigt wird, und andererseits darauf geachtet wird, die Systeme so frei von Schwachstellen und so unempfindlich gegen Angriffe wie möglich zu konzipieren. Die einzelnen Bausteine dieser digitalen Umgestaltung sollen sich mittelfristig zu einem einheitlichen Gesamtbild zusammenfügen. Diesem Kernziel ist die PTB auch in der aktuellen Pandemiesituation treu geblieben. So hat die PTB ganz bewusst auf freie Open Source Software zur Erweiterung der digitalen Werkzeuge zur Kommunikation und Kollaboration gesetzt, die sich später nahtlos mit anderen Werkzeugen kombinieren lassen. Der Einsatz neuer Werkzeuge wird dabei in einem gemeinsamen Prozess von Anwendern und Datenschutz-, Informationssicherheits- und Digitalisierungsexperten evaluiert. Hierfür wurde auch eine eigene Steuerungsgruppe eingerichtet, ein kontinuierlicher strukturierter Evaluationsprozess initiiert und die Einrichtung einer zentralen Einheit für die Softwareentwicklung eingeleitet.

Einer der wesentlichsten Bausteine im digitalen Werkzeugkasten der PTB ist die elektronische Akte, kurz E-Akte, ein zentrales elektronisches Dokumentenmanagementsystem, in dem alle Schriftstücke der PTB komfortabel abgelegt und gefunden werden und welches das räumlich flexible, gemeinsame Arbeiten unterstützt. Insbesondere die digitale Transformation von Prozessen, die auf diesen Schriftstücken basiert, ist dabei ein wichtiges Element. Ausgehend von den Erkenntnissen der Pilotprozesse ist 2020 der Roll-out mit Hochdruck gestartet worden. Sukzessive werden nun nacheinander die verschiedenen Bereiche der PTB in das System der E-Akte aufgenommen. Für eine effiziente und effektive Nutzung setzt die PTB dabei auf ein umfassendes Schulungs- und Informationskonzept. Um diesen Prozess auch in der Pandemiesituation fortsetzen zu können, wurden diese Konzepte verstärkt virtualisiert und gezielt um Video-Anleitungen erweitert.

Ein weiterer digitaler Baustein auf dem Weg zu effizienter und sicherer Kundenorientierung in der PTB ist das Kundenportal „E-Services“. Mit diesem Service soll eine webbasierte Auftragsda-

tenverarbeitung eingerichtet werden, die eng mit dem E-Akte-System der PTB verknüpft ist. Das Kundenportal wird die zentrale digitale Anlaufstelle für Kunden aus dem Bereich der Konformitätsbewertung und Kalibrierungen sein und den einfachen Upload von Informationen sowie die Auftragsverwaltung gewährleisten. Die Integration dieser Bausteine mit den anderen digitalen Entwicklungen und Werkzeugen ist Ziel des unten beschriebenen Projekts „Digitaler Workflow für metrologische Dienstleistungen“.

Kernziel 5 – Die PTB fördert die aktive Teilhabe aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an der Digitalisierung

Schon vor der aktuellen Pandemiesituation setzte die PTB auf moderne Werkzeuge und Prozesse zur Einbeziehung aller interessierten Kreise. So wurde im Verlauf des letzten Jahres zum Beispiel ein Wiki als digitaler Wissensspeicher in den Fundus zentral bereitgestellter Dienste aufgenommen. Dadurch ist ein weiterer zentraler Anlaufpunkt geschaffen worden, wo erstmals potenziell gleichberechtigt Informationen mit allen Beschäftigten geteilt werden können. Insbesondere die aktuelle Pandemiesituation fordert ein Höchstmaß an Flexibilität und Anpassungsfähigkeit ab. Auch an der PTB wechseln viele Beschäftigte jetzt häufig ins Homeoffice, wo immer es die täglichen Aufgaben erlauben. Um in diesen Zeiten zusätzliche Belastungen zu reduzieren, wurden die Möglichkeiten zur Kontaktaufnahme und Interaktion deutlich ausgebaut.

Diese Maßnahmen erfolgen stets im Austausch mit den Beschäftigten und Interessenvertretern, um konkrete Bedürfnisse und Sorgen zu berücksichtigen. Ein wichtiger Teil dieses Austauschs erfolgte in diesem Jahr während der Themenwoche „Digitaler Arbeitsplatz – Herausforderungen gemeinsam meistern“. Die Themenwoche war eine online Veranstaltung mit neuen und in dieser Form erstmalig an der PTB genutzten Features. Verschiedene Themeninseln stellten ihre Bereiche über eine zentral bereitgestellte Homepage im Intranet vor. Bereits vor der eigentlichen Veranstaltung konnten sich alle Interessierten dort und auf mehreren anderen Kommunikationskanälen informieren. Während der Veranstaltung konnten die Anwesenden über ein Browser-basiertes Kollaborationswerkzeug Fragen stellen, welche live beantwortet wurden. Eine abschließende Diskussionsrunde und ein zusätzlich angebotenes Themenwochen-Quiz rundeten das Paket ab.

In vielen Bereichen der PTB wird Software entwickelt, um Messaufgaben oder Forschungsfragen zu bearbeiten. Ein wichtiger Baustein in

der Digitalisierung stellt für die PTB daher die Vernetzung und Beteiligung der Entwickler*innen dar. Dafür treibt die PTB ein Community-Building voran, indem regelmäßige Treffen durchgeführt werden. Außerdem werden verschiedene Kommunikationskanäle auf- und ausgebaut und Kollaborationswerkzeuge geschaffen, um beim Einsatz innovativer Technologien und erprobter Standards des Software Engineering zu unterstützen.

Digitale Transformation metrologischer Dienstleistungen

Aufbauend auf ihren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bietet die PTB umfangreiche metrologische Dienstleistungen an. Die digitale Transformation der internen Prozesse für diese Dienstleistungen erstreckt sich somit über alle Abteilungen und Themengebiete hinweg. Gleichzeitig sind ein abgestimmtes Vorgehen und eine sinnvolle Harmonisierung digitaler Prozesse notwendig, um tatsächlichen Nutzen aus der digitalen Transformation ziehen zu können. Daher verfolgt die PTB das Ziel eines ineinandergreifenden digitalen Workflows für die metrologischen Dienstleistungen. Die verschiedenen Vorhaben, Projekte und Ideen in der PTB werden dafür digital verzahnt und somit neue Synergien erzeugt, die gleichzeitig neue Impulse setzen. Durchgehend digitale Arbeitsläufe schaffen in Zukunft eine höhere Effizienz und Transparenz; nicht nur für alle Beschäftigten der PTB, sondern vor allem auch für unsere Kunden.

Die Arbeitsprozesse der von der PTB ausgeführten Dienstleistungen weisen eine recht ähnliche Grundstruktur auf und lassen sich grob in die folgenden Bausteine unterteilen: Auftrag erteilen, Auftrag bearbeiten, Prüfungen durchführen, Zertifikat erstellen, Rechnung erstellen, Zertifikat zur Verfügung stellen.

Die Digitalisierung der einzelnen Bausteine ist in der PTB, dank zahlreicher Expertengruppen, bereits sehr weit fortgeschritten. Diese Bausteine

fügen sich künftig durch die konsistente Nutzung von Metadaten zu einem interoperablen, digitalen Gesamtprozess für alle metrologischen Dienstleistungen.

Der erste Baustein in diesem Workflow, das **Kundenportal „E-Services“**, welches sich aktuell im Aufbau befindet und Mitte 2021 in den Pilotbetrieb gehen soll, fungiert als kompetentes Kundenbetreuungssystem für alle PTB-Dienstleistungen. Die Kommunikation zwischen PTB und Kunden kann in Zukunft vollständig über diese Plattform erfolgen, um Dokumente und Informationen auszutauschen. Ein persönliches Kundenkonto dient dabei ebenfalls der Erfassung und Pflege der administrativen Daten. Über eine einheitliche Web-Oberfläche können so in Zukunft sämtliche Aufträge über die Dienstleistungsauswahl direkt und unkompliziert an die PTB gestellt und die dafür erforderlichen Unterlagen als maschinenlesbare Dokumente hochgeladen werden. Diese Inhalte werden zusammen mit allen zugehörigen Metadaten direkt in die **E-Akte** der PTB übertragen. Über die im System hinterlegte Auftragsliste können die Kunden außerdem jederzeit bequem den aktuellen Bearbeitungsstatus einsehen, oder auch einen Folgeantrag stellen, ohne die spezifischen Unterlagen erneut einreichen zu müssen. Diese Transparenz im Handeln der PTB wird durch die direkte Verknüpfung mit der E-Akte ermöglicht.

Anhand der automatisch generierten Metadaten aus den E-Services wird in der E-Akte ein entsprechender Vorgang für den Auftrag angelegt. Implementierte Dokumentvorlagen helfen bei der Dokumentation und Bewertung der eingegangenen Unterlagen. Die erforderlichen Bearbeitungsprozesse und Laufwege sind in der E-Akte klar definiert und gewährleisten auf diese Weise ein transparentes und dadurch wesentlich effizienteres Arbeiten. Die jedem Auftrag beigeordneten **Metadaten** werden zukünftig in jedem neuen Arbeitsschritt genutzt und sukzessive erweitert, so dass diese am Ende beispielsweise direkt und medienbruchfrei in die Erstellung digitaler Zertifikate einfließen können.



Abbildung 1
Workflow für die metrologischen Dienstleistungen der PTB

Vor der Zertifikaterstellung steht auch weiterhin die klassische Prüfung der Geräte, Software, o.ä. an. Um auch hier einen medienbruchfreien digitalen Ablauf zu gewährleisten, beschäftigt sich die PTB aktuell mit der Ausarbeitung geeigneter Schnittstellen zu den vielfältigen, sich bereits im Einsatz befindenden Werkzeugen. Der Datenfluss von den Metadaten der E-Akte zu dem beauftragten Prüflabor muss dabei ebenso sichergestellt werden, wie die anschließende Rücküberführung.

Nach erfolgter Prüfung wird von der PTB künftig, unter Berücksichtigung der Anforderungen der ISO 17025, ein **digitales Zertifikat** ausgestellt. Die PTB nimmt jährlich etwa 5000 Kalibrierung von primären Messnormalen für die Industrie vor. Die Kalibrierung ist damit das führende Dienstleistungsgeschäft der PTB – in 2019 beispielsweise mit einem Anteil von 44 % an allen Dienstleistungen. Um dieses Geschäft nicht nur in der Prozessabwicklung digital zukunftsfähig zu machen, setzt die PTB hier im Besonderen auf die Entwicklung harmonisierter digitaler Formate für die Weitergabe von Kalibrierergebnissen, die über den Menschen hinaus auch von Maschinen einsetzbar sind. Vor diesem Hintergrund ergeben sich mittelfristig neue Ansätze für eine medienbruchfreie und automatisierbare Verknüpfung von Daten zwischen Prozessen, die mit analogen Kalibrierscheinen bisher unmöglich oder zu ineffizient waren. Bereits seit 2017 wird an einem **Digitalen Kalibrierzertifikat (DCC)** kontinuierlich entwickelt. Dazu wird ein Austauschprozess mit den Kalibrierlaboratorien der PTB ebenso geführt, wie mit Vertretern aus Industrie, Wissenschaft und Metrologie. Wichtige Begleitprojekte auf diesem Weg sind das europäisch geförderte Forschungsprojekt SmartCom (2018-2021), welches – von der PTB koordiniert – die Harmonisierung des DCC in Europa vorantreibt sowie die Projekte GEMIMEG (2019) und GEMIMEG II (2020-2023), die eine Verwendung des DCC im Umfeld von Industrie 4.0 fokussieren. Mit der ersten internationalen „DCC Conference“ hat die PTB im Oktober 2020 auch den Grundstein gelegt für eine internationale Abstimmung und gemeinsame Weiterentwicklung.

Inzwischen ist die DCC-Definition in Form einer stabilen Version als XML-Datenstruktur verfügbar und bildet die Grundlage für viele weitere Projekte. So werden aufbauend auf dem DCC digitale Zertifikate für die Konformitätsbewertung entwickelt (D-CoC) und erste Verknüpfungen zum E-Akte System der PTB und der Metrology Cloud definiert.

Die Konformitätsbewertung von Instrumenten im gesetzlichen Messwesens stellt neben der Kalibrierung den zweitgrößten Teil des PTB Dienstleistungsgeschäfts dar. Hierfür wird bereits aktiv das **Digitale Konformitätszertifikat (D-CoC)**

als Pendant zum DCC im gesetzlichen Messwesen entwickelt. Der erste Prototyp einer XML-Struktur für die digitalen Konformitätszertifikate steht seit 2020 bereit und wird kontinuierlich weiterentwickelt.

Vor dem Hintergrund der verstärkten Nutzung der E-Akte, einer zunehmenden Adaption von Digitalen Zertifikaten und den Anforderungen an Dienstleistungen nach dem Onlinezugangsgesetz (OZG), bringt die PTB zudem die Einführung **elektronischer Signaturen und Siegel** seit 2020 mit hoher Priorität voran. Anhand von Musterprozessen wird zunächst bis etwa Mitte 2021 ein erstes PTB-Grundkonzept für elektronische Signaturen und Siegel erstellt. Zu dessen Kernanforderungen zählen relevante rechtliche und technische Rahmenbedingungen, unter anderem die eIDAS-Verordnung, das Vertrauensdienstgesetz (VDG), Rechtsgutachten der Bundesnetzagentur zur digitalen Signatur, Anbindung an das Digitale Zwischenarchiv des Bundes (DZAB), ISO 17025 sowie ISO 17065 und eine langfristige Beweiswelterhaltung. Gemäß der eIDAS-Verordnung wird die PTB somit in Zukunft qualifizierte Signaturen und Siegel zum Einsatz bringen, welche europaweit anerkannt werden. Diese lösen perspektivisch die aktuell verwendeten fortgeschrittenen DFN-Zertifikate ab. Sobald das Grundkonzept bereitsteht, werden in der zweiten Jahreshälfte 2021 erste Pilot-Organisationseinheiten der PTB vollständig digitale Dokumente und Zertifikate mit der notwendigen Sicherheit durch die neuen elektronischen Signaturen und Siegel an Ihre Partner und Kunden in der Industrie ausgeben können. In diesem Zuge wird voraussichtlich auch eine PTB Siegelstelle eingerichtet werden. Die PTB-weite Umsetzung ist für 2022 vorgesehen.

Nicht zuletzt gehört zu der umfassenden Digitalisierung der metrologischen Dienstleistungen der PTB auch die Erstellung **elektronischer Kostenbescheide**. Diese werden zwar weiterhin in SAP erstellt, für einen medienbruchfreien Arbeitsablauf ist jedoch eine Schnittstelle zur E-Akte für die Übertragung der administrativen und auftragsbezogenen Metadaten notwendig. An der technischen Umsetzung arbeitet die PTB aktuell mit Hochdruck. Die sich daraus ergebenden Vorteile sind nicht nur der schnellere und einfachere Zugriff auf die Rechnungsdaten, und die reversionssichere, digitale Archivierung, sondern auch die kürzeren Durchlaufzeiten und die damit verbundene schnellere Rechnungsbegleichung. Zudem arbeitet die PTB zeitgleich an der technischen Umsetzung um **elektronische Rechnungen** (E-Rechnungen) entgegennehmen und verarbeiten zu können.

Am Ende des Bearbeitungsprozesses steht das von der PTB erstellte digitale Zertifikat, welches elektronisch gesiegelt wurde. Über das Kunden-

portal „E-Services“ wird das fertige Zertifikat aus der E-Akte digital in menschen- und maschinenlesbarer Form den Kunden zur Verfügung gestellt. Von dort kann es heruntergeladen und direkt in die bei den Kunden bestehende IT-Infrastruktur integriert werden. Über das Zertifikatmanagementsystem der E-Services können die Kunden dann zudem, falls gewünscht, zu einem bestehenden Zertifikat direkt einen Folgeauftrag senden.

Neben den bereits genannten Schnittstellen zwischen E-Services, E-Akte, der Auftragsbearbeitung inklusive Siegelung und Rechnungssystemen werden von der PTB gleichzeitig zukünftige Schnittstellen identifiziert und definiert, die sich aus der technologischen Weiterentwicklung der individuellen Infrastrukturen der Kunden der PTB ergeben. Ganz konkret arbeitet die PTB beispielsweise an einer Schnittstelle zu der European Metrology Cloud, die es Unternehmen in Zukunft erlaubt, über einen vollständig digitalen Prozess mit den dort hinterlegten Gerätedaten Dienstleistungen bei der PTB zu beauftragen. Die **Metrology Cloud** ist eine von der PTB entwickelte Infrastruktur für die digitale Transformation von Prozessen in der Qualitätsinfrastruktur. Ihr Fundament ist eine vertrauenswürdige metrologische Kernplattform bei jedem Partner, die Regulierungsprozesse durch die Zusammenführung bestehender Infrastrukturen und Datenbanken unterstützen und straffen soll und allen Beteiligten eine zentrale Anlaufstelle bietet. Innerhalb dieser Qualitätsinfrastruktur werden Referenzarchitekturen sowie technologie- und datengetriebene digitale Dienste für das gesetzliche Messwesen entwickelt. Ein wesentliches Merkmal der Metrology Cloud ist die konsequente Nutzung verteilter Datenbanken auf Basis der Distributed Ledger Technologie, wie sie bspw. auch bei Blockchains eingesetzt wird. Damit wird die Sicherheit der Daten vor Manipulation und Verfälschung gewährleistet. Insbesondere werden keine Daten zentral gespeichert, sondern verbleiben bei den jeweiligen Partnern. Ein Messgerätehersteller kann so bspw. über die Metrology Cloud den zuständigen Stellen Zugriff auf die notwendigen Daten aus seinen Infrastrukturen gewähren. Gleichzeitig können automatisierte digitale Prozesse auf den Daten als sog. „Smart Contracts“ eingerichtet werden. In den letzten beiden Jahren wurde der Prototyp kontinuierlich weiterentwickelt. So konnte bereits ein erstes Mikro-Grid von Knoten der Metrology Cloud mit ersten internationalen Partnern gestartet und Metrology Cloud Nodes an nationale Stakeholder verteilt werden.

Bisher umgesetzt in der Metrology Cloud sind digitale Prozesse für Eichabläufe, die einen vollständigen digitalen Ablauf für den Austausch von Dokumenten und Software ermöglichen. Neu entwickelt werden digitale Abläufe für

Kalibrieraufträge. Bereits im Frühjahr 2021 plant die PTB einen ersten internen Probelauf für den Austausch von DCCs über die Metrology Cloud. Dieser wird dann die Grundlage zur Entwicklung eines allgemeineren Musterprozesses für einen digitalen Auftragsablauf zwischen Kalibrierlaboratorien und ihren Kunden in der Metrology Cloud bilden. Wird zukünftig ein Auftrag über die Metrology Cloud an die PTB übermittelt, wird das digitale Zertifikat dann auch auf diesem Weg bereitgestellt.

Diese Bausteine so zu entwickeln, dass am Ende ein ineinandergreifender digitaler Prozess von den Kundendaten über die Auftragsbearbeitung, Dokumentation und Zertifikatserstellung entsteht, ist ein wesentliches Ziel der internen digitalen Transformation der PTB. Dabei werden auch bestehende Arbeits- und Organisationsprozesse der PTB konsequent hinterfragt und effizient digital transformiert.

Die PTB ist ein wesentliches Element in der nationalen Qualitätsinfrastruktur (QI) und insbesondere für die metrologischen Dienstleistungen mit den anderen Akteuren der QI vernetzt. Gemeinsam bilden sie das Fundament für Vertrauen in Produkte und Dienstleistungen und sind Garant unseres wirtschaftlichen Erfolgs. Die Herausforderungen und Möglichkeiten, die sich der PTB durch die Digitalisierung bieten, treffen in ähnlicher Weise auch auf die gesamte QI zu: Neuartige Produkte und Dienstleistungen müssen behandelt werden können, digitale Prozesse und Werkzeuge bieten neue vielfältige Möglichkeiten und etablierte Herangehensweisen müssen auf den Prüfstand gestellt werden. Die Metrologie bildet dabei eine wesentliche Basis und stellt für viele der notwendigen Veränderungen die Voraussetzungen zur Verfügung.

In dem Vorhaben „QI-Digital“ geht die PTB dafür gemeinsam mit den anderen Akteuren der QI diese Herausforderungen aktiv an. Auf Basis einer umfangreichen Forschungs- und Umsetzungsagenda wurden konkrete Fallbeispiele definiert und nun gemeinsam zur Umsetzung gebracht. Die PTB baut dabei gezielt auf ihren Kompetenzen und Vorarbeiten auf, entwickelt diese weiter und ergänzt sie mit den Partnern in QI-Digital zu einer interoperablen digitalen QI. Die Arbeiten der PTB berücksichtigen dabei alle wesentlichen digitalen Infrastrukturen und Prozesse für die metrologischen Aspekte in der QI:

- die gemeinsame Weiterentwicklung von digitalen Zertifikaten auf Basis des von der PTB entwickelten DCC und den begonnenen Arbeiten zu einem D-CoC;
- die Weiterentwicklung der Metrology Cloud zu einer „QI-Cloud“ für digital transformierte Prozesse in der QI;

- die Entwicklung eines „Digital QI-Toolkit“ für die digitale Transformation der internationalen Beratungs- und Kooperationsarbeiten der PTB im Bereich Qualitätsinfrastruktur.

Dabei stellt die Entwicklung einer interoperablen, digital transformierten Qualitätsinfrastruktur eine der zentralen Herausforderungen für eine „QI-Digital“ dar.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die PTB ihre Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Digitalisierung konsequent und mit Nachdruck zur digitalen Transformation metrologischer Dienstleistungen innerhalb der PTB und in der gesamten Qualitätsinfrastruktur einsetzt. Motiviert werden diese Aktivitäten durch das Ziel der PTB, sicherzustellen, dass die deutsche Metrologieinfrastruktur auch in einer digitalisierten Welt mit vernetzten Technologien und innovativen Produkten einen entscheidenden Beitrag zur Innovationskraft Deutschlands leistet.

Forschungsschwerpunkte in der Digitalisierung

Die Digitalisierung im Messwesen führt zu zahlreichen Herausforderungen für die Metrologie, denen mit Forschungs- und Entwicklungsarbeiten begegnet werden muss. Beispiele sind der Einsatz digitaler Zwillinge als virtuelle Messgeräte, komplexe Kommunikationssysteme, die Verwendung komplexer Sensornetzwerke und der vermehrte Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz (KI). Entsprechend vielfältig sind die Forschungsaktivitäten der PTB mit Bezug zur Digitalisierung.

Ein wesentliches Merkmal bei Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich Digitalisierung ist ein enorm hoher Grad an Interdisziplinarität. Komplexe und vernetzte Technologien basierend auf verschiedensten Messverfahren, die metrologisch charakterisiert werden müssen, um Vertrauen garantieren zu können. Dabei kommen die klassischen metrologischen Ansätze zunehmend an ihre Grenzen durch die Komplexität und Disruptivität der technologischen Entwicklungen. Beispiele sind Metrologie für das autonome Fahren und Metrologie für heterogene Sensornetzwerke. Diese verbinden verschiedenste Messprinzipien mit komplexen mathematischen Modellen und statistischen Methoden bis hin zu KI. Der Gesamtheit dieser Herausforderungen kann langfristig nur durch einen Wandel zu einem systemischen Denken und Wirken in der Metrologie begegnet werden – einer „systemischen Metrologie“. Die PTB hat dazu ein umfassendes Konzept erarbeitet, welches auch auf Basis neuer struktureller und organisatorischer Herangehensweisen umgesetzt werden soll. Bereits heute begegnet die PTB diesen Entwicklungen mit einer konsequenten Verstär-

kung der interdisziplinären Zusammenarbeit und einer Intensivierung der Vernetzung mit externen Experten.

Aus diesem Grund hat die PTB das Kompetenzzentrum Metrologie für virtuelle Messgeräte (VirtMet) eingerichtet. Hier betreibt sie interdisziplinäre Forschung und bündelt Expertise, um sowohl konkrete virtuelle Messverfahren zu entwickeln als auch übergeordnete Fragestellungen zu bearbeiten, z. B.: Wie stellt man die Vergleichbarkeit von virtuellen und realen Messungen her? Welche Standards für Schnittstellen, Metadaten und Datenformate sind notwendig? Und wie können virtuelle Experimente für komplexe Messsysteme mit Methoden des maschinellen Lernens behandelt werden? Anhand konkreter Anwendungsbeispiele, wie dem *Tilted Wave Interferometer (TWI)* oder dem digitalen Zwilling der Planck-Waage, werden diese Fragen abteilungsübergreifend bearbeitet. Im weiter unten beschriebenen vom BMWi geförderten Projekt GEMIMEG-II werden die Weiterentwicklung digitaler Zwillinge und deren Integration mit digitalen Kalibrierzertifikaten betrieben.

Im Zuge der Digitalisierung spielt Künstliche Intelligenz (KI) zunehmend die Rolle eines Katalysators und beschleunigt die Entwicklung digitaler Produkte und Dienstleistungen enorm. Mit wachsendem Einsatzbereich von KI steigt die Notwendigkeit für klare Regeln und eine Berücksichtigung in der Qualitätsinfrastruktur. Die Enquete-Kommission der Bundesregierung sieht in der KI die nächste Stufe einer durch technologischen Fortschritt getriebenen Digitalisierung. Ein wesentliches Element ist dabei die Art, wie diese Algorithmen entwickelt werden. Ein klassischer Algorithmus setzt in der Regel ein vorher beschriebenes Verfahren in Software um. Das Verfahren basiert dabei auf mathematischen, statistischen oder anderen Annahmen, Theorien und Regeln. Im Gegensatz dazu wird der Algorithmus einer KI-Methode mit Hilfe von Daten trainiert. Ein weiteres Merkmal ist die sehr hohe Anpassungsfähigkeit von KI-Methoden. Diese kann jedoch dazu führen, dass auch unerkannte Merkmale der Trainingsdaten ungewollt in den Algorithmus einfließen. Daher ist, im Gegensatz zu anderer Software, eine Prüfung des Algorithmus auf Basis des Quellcodes allein kaum durchführbar. Um ihrem gesetzlichen Auftrag bei der Bewertung und wissenschaftlichen Begleitung von Produkten, Geräten und Methoden auch für solche mit KI-Anteilen gerecht werden zu können, baut die PTB entsprechende Kompetenzen auf. Vor allem im Bereich der Medizin besitzt die PTB bereits eine exzellente Kombination aus Domänenwissen, mathematischer Expertise und Vernetzung mit Experten.

So hat die PTB bereits konkrete Methoden, bspw. zur Bewertung der Robustheit von KI und

Qualität von KI-Ergebnissen entwickelt; erste Referenzdaten, bspw. den Datensatz „PTB-XL“ mit EKG-Daten veröffentlicht; und das Themenfeld „Unsicherheit und maschinelles Lernen“ mit einer neuen Professur an der TU Berlin gestärkt. Auf dieser Basis wird nun ein internes Kompetenzzentrum „Metrologie für Vertrauen in KI“ aufgebaut, welches mit Expertise, Methodenentwicklung und „good practices“ auch weit über den Bereich der Medizin hinaus ausstrahlen wird. Eine umfassende KI-Strategie wird die Ausrichtung und die Arbeiten weiter konkretisieren.

Konkret soll in dem neuen Kompetenzzentrum der Mangel an strukturierten Prozessen und einer Qualitätsinfrastruktur zur objektiven, belastbaren und reproduzierbaren Validierung von KI-Technologien adressiert werden. Die PTB arbeitet daher daran, für den Einsatz maschinellen Lernens objektive Bewertungsmethoden für die Qualität von Algorithmen festzulegen, gemeinsam mit medizinischen Experten Verfahren für die Bereitstellung von Referenzdaten zu entwickeln sowie an Normen und Standards für quantifizierbare und prüfbare Kriterien für die Datenqualität mitzuarbeiten. Damit verfolgt die PTB das Ziel, auch langfristig ihren gesetzlichen Aufgaben zur Sicherstellung von Vertrauen in Messverfahren und -methoden in der Medizin gerecht werden zu können. Dabei setzt die PTB gezielt ihre langjährige Erfahrung in der Messtechnik sowie der Entwicklung virtueller Messungen ein.

Ein konkretes Beispiel für die Komplexität von vernetzten Systemen ist das autonome Fahren. Im Zuge der Produktzulassung von Automobilkomponenten werden bereits heute verschiedenste Prüfverfahren eingesetzt (z. B. mechanische und elektrische Tests, Klimatests). Diese erfolgen jedoch zum Großteil auf Komponentenebene und isoliert, d. h. weder in der tatsächlichen Einbausituation im Fahrzeug noch im eigentlichen Sensorsystemver-

bund. Insbesondere im Fall der Wahrnehmungssensorik eines Automobils sind jedoch gerade die Einbausituation der Sensoren sowie ihr Zusammenspiel bei der Darstellung der Umgebungssituation von enormer Bedeutung für die Funktionalität des autonomen Fahrens. Daher wird es in Zukunft von Nöten sein, das gesamte Netz aus ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) Komponenten inklusive der verwendeten KI-Methoden in seinem tatsächlichen Betriebszustand zu testen – zusätzlich zur schon heute standardmäßigen Komponentvalidierung. Wie solch eine systemische Konformitätsbewertung eines Fahrzeugs mit ADAS Funktionen realisiert werden kann ist zum heutigen Zeitpunkt völlig offen. Gemäß der ADAS Strategie „Sense – Plan – Act“ baut die PTB auf ihren derzeitigen Kompetenzen auf, um ihren Beitrag im Bereich der Wahrnehmungssensorik („Sense“) zu leisten. Eine Charakterisierung und Kalibrierung des Sensorsystems soll in einem noch zu entwickelnden Prüfzentrum realisiert werden. Ein solches Zentrum soll den jeweiligen Sensortypen geeignete Randbedingungen zur Verfügung stellen – sprich im Hochfrequenzbereich (Radar) und optischen Spektralbereich (Lidar und Kamera) – und/oder sogar in der Lage sein, dem Fahrzeug in geeigneter Weise Verkehrssituation synthetisiert vorspielen zu können, um so die Fahrfunktion gegebenenfalls mit abzuprüfen. Des Weiteren sollen Wetter-, Klima- und andere Umgebungsbedingungen des Fahrzeugs definierbar sein, um auch diese Einflüsse reproduzierbar und quantifizierbar messtechnisch erfassen zu können.

Im industriellen Kontext versteht man unter der Digitalisierung u. a. eine Vereinheitlichung und Automatisierung in der Behandlung von Sensordaten. Die sich daraus ergebenden Fragestellungen geht die PTB gezielt im Rahmen von Kooperationsprojekten an. So wird die Zusammenführung von Messdaten zur Ermittlung von Anlagenzu-

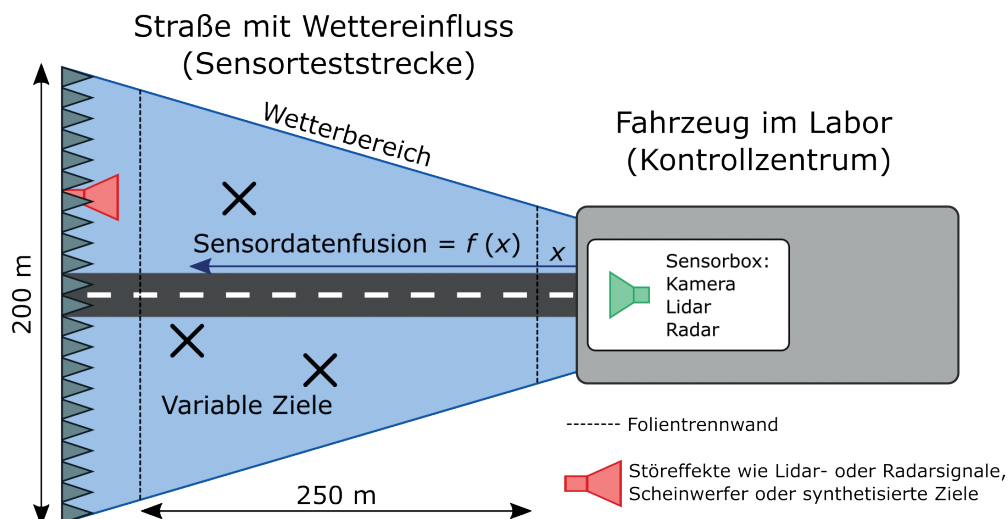


Abbildung 2
Prinzipzeichnung für einen Teilbereich des ADAS Prüfzentrums

ständen, Kennzahlen, Prozessoptimierungspotential usw. (sensor fusion, condition monitoring, soft sensor) in dem europäisch geförderten Projekt „Metrology for the Factory of the Future“ (Met4FoF) und dem vom BMBF geförderten Vorhaben „AAS-basierte Modellierung zur Analyse veränderlicher CPS“ (FAMOUS) durch Methodenentwicklung unter metrologischen Gesichtspunkten bearbeitet. Im Sinne einer automatisierten Auswertung von Messdaten ist eine maschineninterpretierbare Beschreibung essenziell. Insbesondere semantische Konzepte zu metrologisch aussagekräftigen Zeitreihen sowie Datenqualitätsmodelle, die über eine reine Messunsicherheit hinausgehen, werden daher in dem vom BMWi geförderten Projekt „Sichere und robuste kalibrierte Messsysteme für die digitale Transformation“ (GEMIMEG-II), im EU geförderten Projekt „Communication and validation of smart data in IoT-networks“ (SmartCom) und auch in BMBF FAMOUS erarbeitet. Dabei wird auch untersucht, inwiefern redundante Informationen in homogenen Sensornetzwerken für neuartige Kalibrierverfahren eingesetzt werden können.

Das BMWi-Leuchtturmprojekt GEMIMEG-II befasst sich insgesamt mit der Herausforderung, die sichere und robuste Kommunikation von Daten, Informationen und Zertifikaten in den Qualitätsinfrastruktur-Prozessen erfolgreich und rechtsgemäß digital zu transformieren. Das Ziel ist eine sichere, durchgängige und rechtsverträgliche Ende-zu-Ende Verfügbarkeit von Kalibrierinformationen und Datenqualität. Im Rahmen des Projektes übernimmt die PTB die Teilprojektleitung zu Aspekten der Erzeugung, Verteilung und Anwendung von digitalen Kalibrierzertifikaten (DCC). Der Umgang mit DCC-Daten sowie mit den aus dem DCC extrahierten Daten unter Berücksichtigung der metrologischen Rückführbarkeit gehören ebenfalls zu den Forschungszielen. Auf Basis des DCC soll zudem ein anpassbares Konzept eines digitalen Zwillings (engl. Digital Twin oder DT) entwickelt werden, dessen Vorhersagekraft deutlich höher als bei bisherigen DTs ist. Ein weiterer Bestandteil der PTB-Anteile in dem Projekt ist die Entwicklung von Methoden zur automatischen Bestimmung der Datenqualität (Quality of Data – QoD). In diesem Zusammenhang wird ein semantisches Datenmodell zu einer maschineninterpretierbaren Beschreibung der Datenqualität in verschiedenen Sensorarten (z. B. Einzelsensoren, MultiX, KI- und modellbasierte Sensoren) erarbeitet. Die resultierenden Ergebnisse werden zu einer Methodik zur Nutzung von Messwerten und QoD Informationen als Eingangsgrößen für den DT auf Basis von Informationen eines DCC führen. Entwickelte Methoden fließen in bestehende Softwareprojekte ein oder bilden eigenständige Pakete. Für die Implementierung

wird eine quelloffene und an aktuelle Methoden der Softwareentwicklung angepasste Veröffentlichung angestrebt.

Darüber hinaus wird die PTB in GEMIMEG-II zu der Entwicklung einer zukunftsfähigen Kommunikationsinfrastruktur für die Vernetzung massiver Sensornetzwerke untereinander, sowie zu externen Datenquellen, beitragen. Die bereits vorhandene Expertise der PTB in der Entwicklung und dem Einsatz rückgeführter Messverfahren zur Netz- und Übertragungsqualität wird diesbezüglich eingebracht. Ein besonderer Fokus liegt auf der Entwicklung selbstbildender und selbstheilender Funksysteme und Optimierung der Netzinfrastruktur. Methoden zur Lastverteilung, Selbstoptimierung und Selbstorganisation, z. B. in 5G-Campusnetzen, werden hierbei untersucht. Diese Arbeiten zu neuen Kommunikationssystemen in GEMIMEG-II werden ergänzt durch die Beteiligung der PTB im Regionalvorhaben „5G-Region Braunschweig-Wolfsburg“. In diesem 5G-Reallabor arbeitet die PTB an der Verlässlichkeit und Vergleichbarkeit von Qualitätsmessungen.

Zusammenfassung und Ausblick

Metrologie für die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft ist und bleibt ein Themenfeld mit vielen Herausforderungen und Möglichkeiten für die PTB. Die Pandemiesituation hat die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges bestätigt, die Entwicklungen bestärkt und neue Ideen noch schneller reifen lassen.

Im Bereich der metrologischen Dienstleistungen spielt die Verzahnung von digitalen Lösungen und Prozessen eine wichtige Rolle, um die Möglichkeiten der Digitalisierung effizient und effektiv nutzen zu können. Die PTB hat daher eine Projektgruppe „Digitaler Workflow für metrologische Dienstleistungen“ gestartet, die diese Entwicklung aktiv vorantreibt.

Die gesamte Qualitätsinfrastruktur ist herausgefordert durch die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft. Die PTB hat Grundbausteine für digitale Zertifikate und digitale Prozesse gelegt. In Abstimmung und Kooperation mit den anderen Akteuren in der Qualitätsinfrastruktur entwickelt die PTB diese Arbeiten weiter zu einer interoperablen digitalen QI, die auch in Zukunft Innovationen fördern und gleichzeitig Vertrauen und Sicherheit gewährleisten kann: eine QI-Digital.

Vertrauen in Daten ist ein wesentliches Element für eine erfolgreiche und nachhaltige Digitalisierung. Die PTB hat mit ihrem Engagement in nationalen und internationalen Gremien, der Erarbeitung von Datenmodellen und digitalen Technologien den Grundstein gelegt für Vertrauen in metrologische Daten. Diese Arbeiten werden

kontinuierlich ausgebaut und weiterentwickelt. In Zukunft wird die PTB auch ihre Aktivitäten im Forschungsdatenmanagement, bei der Entwicklung von Standards für (Meta)Daten und der Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit von Daten in digitalen Infrastrukturen weiter ausbauen.

Das Kernziel „Die PTB will auch in einer digitalisierten Welt die Einheitlichkeit im Messwesen sicherstellen“ schließt auch Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) mit ein. Daher beschäftigt sich die PTB in zunehmendem Maße mit Bewertungsmethoden für KI, Beurteilung von Datenqualität, Referenzdaten und Benchmarks. In Zukunft wird KI zu einer Kernkompetenz in der Metrologie gehören. Die PTB legt jetzt die Basis dafür.



Herausgeber

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
ISNI: 0000 0001 2186 1887
Postanschrift:
Postfach 33 45,
38023 Braunschweig

Redaktion

Dr. Sascha Eichstädt
PSt1 „Koordination Digitalisierung“
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Abbestr. 2–12
10587 Berlin
Tel.: (030) 3481-7946
E-Mail: sascha.eichstaedt@ptb.de

Layout

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, PTB
Sabine Siems
Telefon: (05 31) 592-82 02
Telefax: (05 31) 592-30 08
E-Mail: sabine.siems@ptb.de



Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, das nationale Metrologieinstitut, ist eine wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**
Nationales Metrologieinstitut

Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Telefon: 0531 592-3006
Fax: 0531 592-3008

www.ptb.de