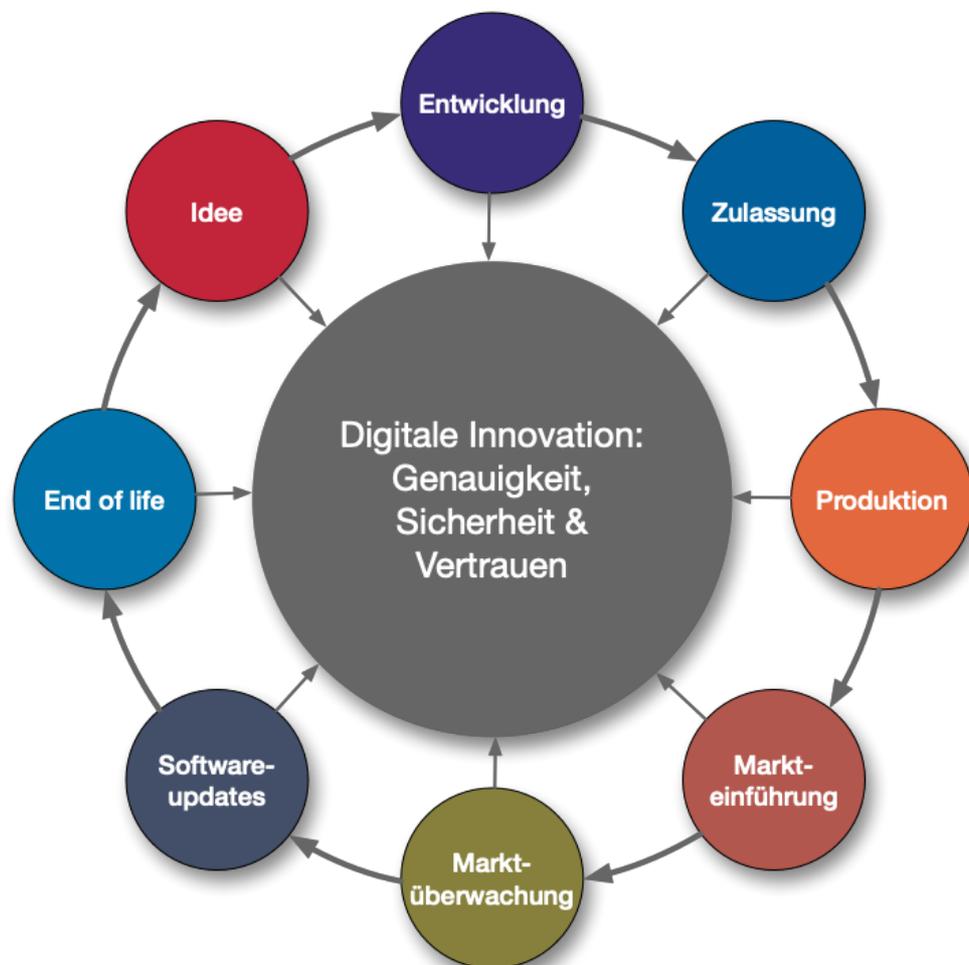


Metrologie für die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft

Die PTB-Digitalisierungsstrategie (Stand 2018)



Executive Summary

Die Digitalisierung ist ein fortwährender Prozess, der alle Bereiche der Gesellschaft auf ganz verschiedene Weise intensiv beeinflusst und nachhaltig verändert. So ist in den Bundesländern Deutschlands die Digitalisierung inzwischen eine Aufgabe auf Ministerienebene und wird mit Milliarden Euro finanziell unterstützt. Hier stehen in erster Linie der Breitbandausbau, die Digitalisierung von Schulen und Universitäten sowie Programme für die digitale Verwaltung im Vordergrund. In den produzierenden Unternehmen wird hingegen Digitalisierung im Rahmen von Industrie 4.0, also der vollständig digital vernetzten Produktion, gesehen. Zusätzlich entwickeln die Firmen digital unterstützte Produkte, mit deren Hilfe sie zum Teil auch neue Geschäftsfelder eröffnen. In der Forschung wiederum zeigt sich die Digitalisierung in neuen Forschungszweigen, interdisziplinären Kooperationsprojekten und nicht zuletzt in vielen neuen Herausforderungen, wie beispielsweise dem Forschungsdatenmanagement. Viele dieser Aspekte subsumieren sich in einer in Zukunft vollständig digitalisierten Qualitätsinfrastruktur. In dieser werden Prozesse komplett digital abgewickelt, Objekte weitreichend vernetzt und intelligente Algorithmen intensiv genutzt. Diese digitale Transformation ist bereits in vollem Gange und wird durch die aktuellen technologischen Entwicklungen weiter beschleunigt.

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) als das nationale Metrologieinstitut Deutschlands spielt durch ihre große Aufgabenvielfalt in einer Vielzahl der oben genannten Fragestellungen, Herausforderungen und Entwicklungen eine aktive Rolle:

- Im Bereich des gesetzlichen Messwesens treibt die PTB eine umfassende Digitalisierung der Prozesse und Messgeräte vorlauforientiert aktiv voran und unterstützt die Industrie und die Marktaufsichtsbehörden intensiv in den aktuellen Digitalisierungsfeldern der intelligenten Messsysteme (Smart Meter) und der Elektromobilität.
- Im industriellen Messwesen unterstützt die PTB das Kalibrierwesen durch die Entwicklung international anerkannter, maschinenlesbarer digitaler Zertifikate mit entsprechender Infrastruktur für die gegenseitige Anerkennung der Gültigkeit.
- Für Simulationen und sogenannte virtuelle Messgeräte betreibt die PTB interdisziplinäre Forschung, um die aktuelle Grundsatzfragen in einem ganzheitlichen Ansatz zu beantworten.

- Für verlässliche Datenauswertungen entwickelt die PTB prüfbare Algorithmen und arbeitet an der Harmonisierung von Methoden.
- Für einen nachhaltigen Aufbau einer 5G-Infrastruktur beschäftigt die PTB sich mit den metrologischen Grundlagen der dafür notwendigen Hochfrequenz-Messtechnik.

Dabei spielen das gemeinsame, abgestimmte Vorgehen sowie das Ineinandergreifen der verschiedenen Aktivitäten an der PTB eine entscheidende Rolle.

Die 2017 veröffentlichte Digitalstrategie¹ der PTB hat vier wesentliche Schwerpunktbereiche für Forschung und Entwicklung herausgestellt, in denen die Digitalisierung eine große Rolle spielt: Metrologische Dienstleistungen, Datenanalyse, Kommunikationstechnologie und Simulationen. Seitdem wurden viele der dort beschriebenen Vorhaben bereits begonnen und weiterentwickelt.

Konkret wurden unter anderem folgende Vorhaben aufgegriffen:

- Das europäisch geförderte Projekt SmartCom ist im Juni 2018 gestartet, um die 2017 gelegten Grundlagen für den Digitalen Kalibrierschein (Digital Calibration Certificate: DCC) und die SI-basierte digitale Kommunikation metrologischer Informationen weiterzuentwickeln und international bereit zu stellen. Mit dem aktuellen Entwurf des DCC werden die Anforderungen der neuen DIN EN ISO/IEC 17025 abgebildet und es lassen sich bereits eine Vielzahl von Messgrößen darstellen. Im ersten Halbjahr 2019 wird das national erprobte XML-Schema dann international vorgestellt.
- Die Initiative „European Metrology Cloud“ wurde im Juni 2018 mit mehreren europäischen Partnern erfolgreich gestartet. Das Projekt wird Demonstratoren für eine „Digitale Qualitätsinfrastruktur“ für das gesetzliche Messwesen entwickeln, regulierte Prozesse digital abbilden und Architekturvorschläge für verteilte Messgeräte erarbeiten, die mit dieser Infrastruktur interagieren.
- Die zugehörige Juniorprofessur im Bereich „Sichere und vertrauenswürdige netzangebundene Systeme“ am Einstein-Zentrum von TU Berlin und PTB wurde erfolgreich gestartet.
- Das EMPIR-geförderte Projekt Met4FoF ist im Juni 2018 gestartet, um metrologische Grundlagen für Industrie 4.0-Szenarien zu entwickeln und zu evaluieren.

¹ DOI: [10.7795/310.20170401DE](https://doi.org/10.7795/310.20170401DE)

- In dem maßgeblich vom Fraunhofer HHI und der PTB vorangetriebenen und vom BMWi geförderten Vorhaben „GEMIMEG - Sichere und robuste kalibrierte Messsysteme für die digitale Transformation“ wird im ersten Halbjahr 2019 mit vielen namhaften Partnern aus Industrie und Forschung ein neues Leuchtturmprojekt in diesem Bereich erarbeitet.
- Die Erarbeitung der Kombination und gegenseitige Integration der Entwicklungen in SmartCom und Metrology Cloud wird wissenschaftlich begleitet.
- Die PTB ist intensiv in den Aktivitäten der Berliner Universitäten im Bereich maschinelles Lernen eingebunden und treibt die gemeinsame anwendungsorientierte Forschung aktiv voran.
- Eine Professur zum Bereich „Unsicherheit und maschinelles Lernen“ von TU Berlin und PTB wird 2019 starten.
- Die Pilotphase für die elektronische Akte (E-Akte) der PTB wurde im Herbst 2018 gestartet. Der Beginn des Wirkbetriebs ist für Juni 2020 geplant. Hierbei arbeitet die PTB in enger Abstimmung mit anderen Ressortforschungseinrichtungen, um eine effiziente Umsetzung zu garantieren.
- Im Schwerpunktbereich „Simulationen und virtuelle Messgeräte“ treibt die PTB die Weiterentwicklung ihrer Referenzverfahren VCMM und SimOptDevice aktiv voran. Zusätzlich hat die PTB eine neue interne Plattform als Kompetenzzentrum „Metrologie für virtuelle Messgeräte“ (Virt-Mess) ins Leben gerufen, um den interdisziplinären Austausch und die gemeinsame Entwicklung von Lösungen weiter zu stärken.
- Für die Entwicklung und Umsetzung eines effizienten Forschungsdatenmanagements hat die PTB 2017 eine Projektgruppe ins Leben gerufen. Diese erarbeitet Leitfäden, entwickelt Software-Tools und berät die Forschenden der PTB. Die internationale Abstimmung im Rahmen von EURAMET wurde bereits initiiert.
- Das europäische Zentrum für Mathematik und Statistik in der Metrologie (MATHMET) wird derzeit mit großer Beteiligung der PTB als *European Metrology Network* in EURAMET integriert und hat sich die Entwicklung und Umsetzung eines Software Quality Frameworks und Kooperationen im Bereich High Performance Computing (HPC) zum Ziel gesetzt.
- Im Rahmen ihrer „5G und Millimeter-Wellen“-Strategie hat die PTB bereits Anfang 2018 den Bereich „Spektrumanalyse nichtlinearer Systeme“ im Rahmen ihres Trainee-Programms gestartet. Derzeit laufen die Vorbereitungen für mehrere Kooperationsprojekte mit Industrie und Forschung.
- Der Bereich „Internationale Zusammenarbeit“ hat sich eine spezifisch zugeschnittene Digitalstrategie gegeben, welche ab 2019 konsequent umgesetzt wird.

Die vorliegende Studie zeigt die Entwicklung seit der Digitalisierungsstudie aus dem Jahr 2017 auf, stellt diese in den Kontext einer übergreifenden Strategie und diskutiert neue Fragestellungen. Zusätzlich stellt diese Studie die übergeordneten Kernziele der PTB-Digitalisierungsstrategie vor, welche die aktuellen Entwicklungen in einen langfristigen Kontext setzen.

Grundlegende Ziele der PTB-Digitalisierungsstrategie

1) Sicherstellung von Einheitlichkeit und Vertrauen im Messwesen in einer digitalisierten Welt

Wesentliche gesetzliche Kernaufgaben der PTB sind die Sicherstellung der Einheitlichkeit des Messwesens (Einheiten und Zeitgesetz), die Verpflichtung zur Einhaltung der DIN EN ISO/IEC 17025 sowie die Sicherstellung von Messrichtigkeit, Messbeständigkeit und Prüfbarkeit (MID, Mess- und Eichgesetz). Die internationale Harmonisierung wird für beide Bereiche stark unterstützt. Im Zuge der Digitalisierung ergeben sich hierfür eine Vielzahl neuer Herausforderungen, denen sich die PTB aktiv stellen wird. Dazu gehören unter anderem:

- die Sicherung von Vertrauen in Messwerte und Prozesse in digitalen Infrastrukturen;
- die Entwicklung geeigneter „digitaler Normale“, wie zum Beispiel Referenzdaten, für die Validierung von Algorithmen;
- die Harmonisierung von digitalen Formaten für die Weitergabe metrologischer Informationen wie zum Beispiel mit Hilfe von DCC für die digital vernetzte Industrie.

2) Effizienter und sicherer Einsatz digitaler Technologien

Sowohl für ihre eigene Arbeitsweise als auch für die Prozesse in der Qualitätsinfrastruktur entwickelt und verwendet die PTB digitale Technologien. Dabei sieht sie die Konzepte „security by design“ und „privacy by design“ als unabdingbar für die Sicherung von Vertrauen. Dazu gehören unter anderem:

- die Einführung der E-Akte mit einem ausgefeilten Rechtemanagement;
- das Angebot fortgeschrittener zentraler IT-Dienstleistungen;
- die Entwicklung der Metrology Cloud für die Prozesse im gesetzlichen Messwesen.

3) Nachhaltige Nutzbarkeit von Forschungsergebnissen und Daten

Eine datengetriebene Forschung und Wirtschaft sind nur umsetzbar, wenn verlässliche Daten zugänglich und nachhaltig verwendbar sind. Daher beschäftigt sich die PTB unter anderem mit

- einem umfassenden Konzept für das Forschungsdatenmanagement;
- der Entwicklung und Umsetzung eines Software Quality Framework;
- der konsistenten Nutzung von Metadaten und Vokabular im digitalen Umfeld.

4) Ganzheitlicher Ansatz für die Behandlung von Messgeräten und Messdaten

In einer digital vernetzten Wirtschaft und Industrie sind ganzheitliche Konzepte für den Umgang mit Messdaten und die Vernetzung von Messgeräten notwendig. Daher entwickelt die PTB unter anderem Konzepte für

- konsistente digitale Transformation von gesetzlichem und industriellem Messwesen;
- „Metrology by design“ für verlässliche Messwerte schon bei der Erfassung;
- Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus eines Messgeräts.

5) Aktive Teilhabe aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an der Digitalisierung

Eine digitale Transformation kann nur gelingen, wenn keiner zurückgelassen und digitale Innovationen gefördert werden. Dazu erarbeitet die PTB unter anderem

- Formate für die aktive Unterstützung digitaler Pioniere;
- breit gefächerte Schulungs- und Lernangebote;
- innovative Formate zur Mitgestaltung und Mitwirkung.

Einleitung

Nach Verabschiedung und Veröffentlichung der PTB-Digitalisierungsstrategie im Juni 2017 hat die PTB direkt mit der Umsetzung der Vorhaben begonnen. Dazu wurden gezielt zentrale strategische Reserven sowie Drittmittelinwerbungen verwendet. So wurde im Juli 2017 die neue Stabsgruppe „Koordination Digitalisierung“ gegründet, um eine Bündelung der Informationen und Koordinierung der abteilungsübergreifenden Vorhaben zu realisieren. Diese Gruppe wird seitdem fachlich begleitet von einer zentralen Projektlenkungsgruppe, bestehend aus den primär involvierten Abteilungsleitern. Neben der Koordinierung und Begleitung der Fachvorhaben ist die Aufgabe dieser Stabsgruppe, die Digitalstrategie der PTB technologisch wie fachlich voranzubringen. Dazu hat die Gruppe eine zentrale Internet- und Intranetseite als Informationsplattformen ins Leben gerufen, mehrere Kolloquien veranstaltet, interne Pilotprojekte gestartet, die Vernetzung national und international aktiv vorangetrieben und ein europäisches Drittmittelvorhaben eingeworben. In ähnlicher Weise sind in allen Bereichen der Digitalstrategie der PTB aus dem Jahr 2017 bereits

große Fortschritte erzielt worden. Die digitale Transformation der Qualitätsinfrastruktur erfordert dabei eine ganzheitliche Berücksichtigung der Datensicherheit, geeigneter Datenformate, Datenverfügbarkeit und die rechtlichen Rahmenbedingungen, siehe Abbildung 1. Aus Sicht der Metrologie spielen insbesondere digitale Verbrauchsmessgeräte, eine gemeinsame Sprache vernetzter Messgeräte sowie die Verfügbarkeit geeigneter metrologischer Plattformen eine entscheidende Rolle. Das Zusammenspiel dieser beiden Ebenen – Anforderungen und Aufgabenbereiche – findet sich in vielen Entwicklungen der PTB wieder.

Im Folgenden wird der aktuelle Stand der Umsetzung aufgezeigt. Dabei wird auf die in der Studie 2017 entwickelten neuen Schwerpunktbereiche „Digitale Transformation metrologischer Dienstleistungen“, „Metrologie in der Analyse großer Datenmengen“, „Metrologie der Kommunikationssysteme für die Digitalisierung“ und „Metrologie für Simulationen und virtuelle Messgeräte“ eingegangen.

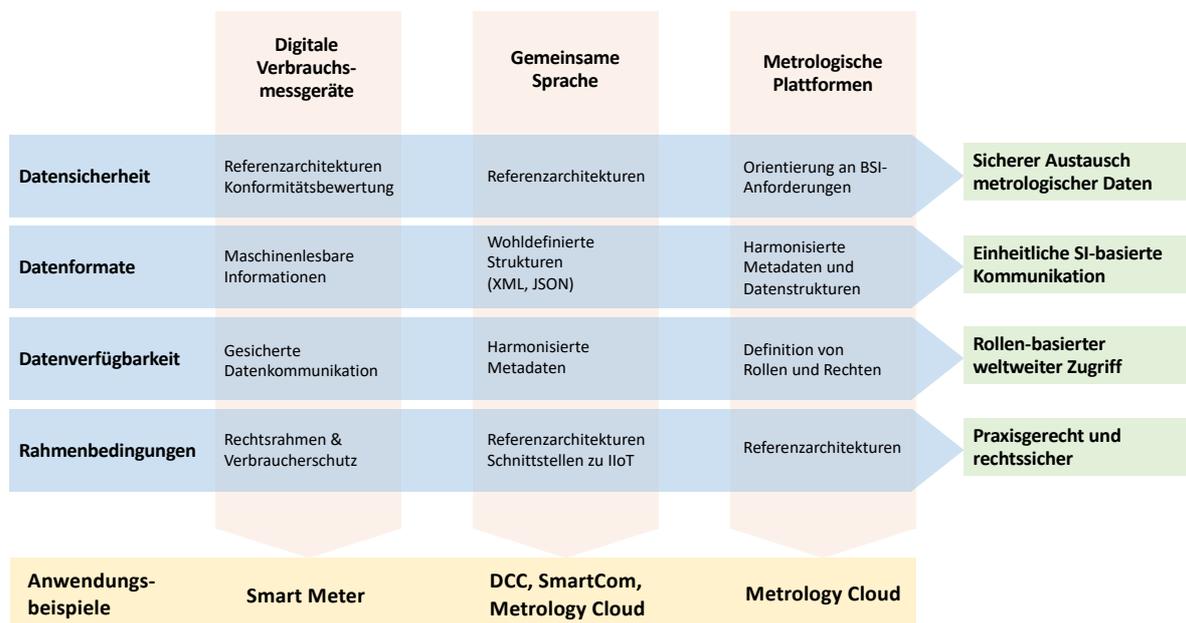


Abbildung 1 Anforderungsmatrix für digitale Prozesse in der Qualitätsinfrastruktur

Digitale Transformation metrologischer Dienstleistungen

Die PTB hat zusammen mit mehreren europäischen Partnern im Juni 2018 das Vorhaben „**European Metrology Cloud**“ (EMC) gestartet². Die erste Phase des Vorhabens ist auf drei Jahre ausgelegt und wird in dieser Zeit Demonstratoren für eine „Digitale Qualitätsinfrastruktur“ für das gesetzliche Messwesen entwickeln, regulierte Prozesse digital abbilden und Architekturvorschläge für Messgeräte erarbeiten, die mit dieser Infrastruktur interagieren. Dieses Vorhaben ist eng verzahnt mit dem ebenfalls auf drei Jahre ausgelegten, EU-geförderten EMPIR-Projekt 17INDO2 „Communication and validation of smart data in IoT networks“ (**SmartCom**)³. Innerhalb des Projekts SmartCom werden die Grundlagen für den **Digitale Kalibrierschein** (*Digital Calibration Certificate – DCC*) und eine einheitliche SI-basierte IoT-Kommunikation metrologischer Daten, die Online-Validierung von Algorithmen sowie die Entwicklung metrologischer Anforderungen für die Kommunikation im Internet of Things (IoT) vorangetrieben. Ein wesentlicher Teil der Zusammenarbeit beider Vorhaben – EMC und SmartCom – ist die Integration des DCC in der Metrology Cloud. Die Implementierung entsprechender Lösungen wird ab Anfang 2019 in einer gemeinsamen Forschungsarbeit umgesetzt werden.

Gegen Ende der Projekte EMC und SmartCom sollen praktisch nutzbare, prototypartige Infrastrukturen und Referenzarchitekturen zur Verfügung stehen. Mit Hilfe von praxisnahen Beispielanwendungen

werden diese Vorhaben gezielt den Weg ebnen für einen zügigen Einsatz in realen Anwendungen. Vor allem im Bereich des industriellen Messwesens ist wegen des geringeren Regulierungsgrads mit einem zügigen Einsatz der in SmartCom entwickelten Lösungen in der Praxis zu rechnen.

Eines der für den Standort Deutschland zentralen Projekte im Bereich Digitalisierung ist die Einführung von **Smart Meter Gateways** (SMGW) im Zuge der Digitalisierung der Energiewende. Hier ist die PTB per Gesetz eine der Säulen für die Ausgestaltung und sorgt für Messrichtigkeit sowie das Vertrauen in Messwerte und Messgeräte. Erste Smart Meter Gateways wurden bzgl. des metrologischen Anteils bereits durch die PTB zertifiziert. Zentrales Element der SMGW ist die Möglichkeit der Kommunikation der Messdaten sowie der Zugriff auf Informationen zu den angeschlossenen Messgeräten über das Internet. In der EMC ist daher insbesondere auch die Kommunikation mit intelligenten Messsystemen über SMGW angestrebt. Für die Umsetzung der EMC in die Praxis ist die PTB zum einen personell vertreten in den vom BMWi und BSI geführten Begleitgremien zu intelligenten Messsystemen als auch eng vernetzt mit DKE sowie den im jeweiligen Bereich tätigen nationalen und europäischen Wirtschaftsverbänden. Die Realisierung und Weiterentwicklung der EMC wird außerdem

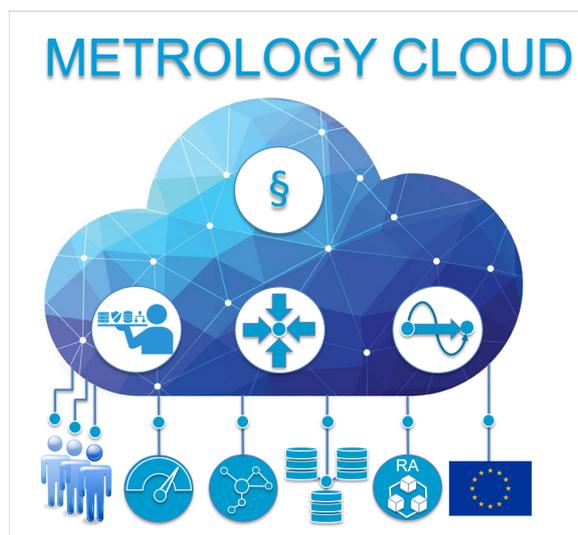


Abbildung 2 Die European Metrology Cloud soll für den stark regulierten Bereich des gesetzlichen Messwesens eine digitale Qualitätsinfrastruktur bereitstellen, um Prozesse durch Digitalisierung zu verschlanken, einen zentralen Kontaktpunkt zu bieten und den Weg zu ebnen für datenbasierte Dienstleistungen

² Details unter <https://digital.ptb.de/MetrologyCloud>

³ Details unter <https://www.ptb.de/empir2018/smart-com/home>

unterstützt durch eine im April 2018 gestartete Nachwuchsgruppe „Sichere und vertrauenswürdige netzgebundene Systeme“ in Kooperation mit der TU Berlin. Durch die Einbettung in das Berliner „Einstein Center Digital Future“ sind diese Arbeiten von Beginn an in die exzellenten Forschungsentwicklungen der Berliner Universitäts- und Hochschullandschaft eingebunden.

Inzwischen wurden für die Metrology Cloud bereits allgemeine Referenzarchitekturen für am Internet angebundene Messgeräte im gesetzlichen Messwesen auf höchstem Risikolevel - jeweils für eingebettete Systeme und Cloud Computing Strukturen - konzeptioniert. Diese bilden die Basis für prototypische, **instrumentspezifische Messgeräteentwicklungen** im Projekt. Die „Digitale Repräsentation“ des Messgeräts in der Metrology Cloud bildet dabei das kommunikative Herzstück für alle Stakeholder. Hier wurde dem Projektkonsortium bereits zum Projektstart ein erster Demonstrator vorgestellt, der die im Projekt zur digitalen Transformation ausgewählten Prozesse zusammen mit einer Referenzarchitektur für eingebettete Systeme grundlegend demonstrierte. Für die Garantie der Vertrauenswürdigkeit und Sicherheit in der Metrology Cloud bei der digitalen Abbildung der regulierten Prozesse im gesetzlichen Messwesen und dem damit zusammenhängenden Datenaustausch zwischen den Stakeholdern, wird auf **Distributed-Ledger (DLT)** bzw. Blockchain- und PKI-basierte

Verfahren gesetzt. Entsprechende Proof-of-Concept Realisierungen der erarbeiteten und mit den Stakeholdern abgestimmten Konzepte werden Mitte 2019 erwartet. Die Erfahrungen der PTB bei der Definition von Anforderungen an intelligente Messsysteme zusammen mit dem BSI fließen hier mit ein. Die Konzeptstudie der EMC und die Demonstratoren werden für den Austausch, Beratung, Abstimmung und Verfeinerung zusammen mit den Landeseichbehörden und Vertretern der Herstellerverbände national wie im europäischen Umfeld genutzt.

Mit dem Voranschreiten des Projekts „European Metrology Cloud“ wird sich die Arbeitsweise im gesetzlichen Messwesen maßgeblich verändern. Die Metrology Cloud eröffnet dazu den Dialog aller Stakeholder darüber, wie bestehende regulierte Prozesse durch digitale Technologien verschlankt und des Weiteren vertrauenswürdig und sicher digital transformiert werden können. Auf diese Weise finden sich alle beteiligten Gruppen in der gemeinsamen Lösung wieder. Das garantiert Markt- und Technologieakzeptanz und trägt so zum Abbau von Innovationshindernissen bei.

Der aktuell ausgegebene „analoge“ Kalibrierschein stellt eine wesentliche Kompetenz in der Kalibrierhierarchie sowie dem Qualitätsmanagement und Akkreditierung dar. Die Verwendung der

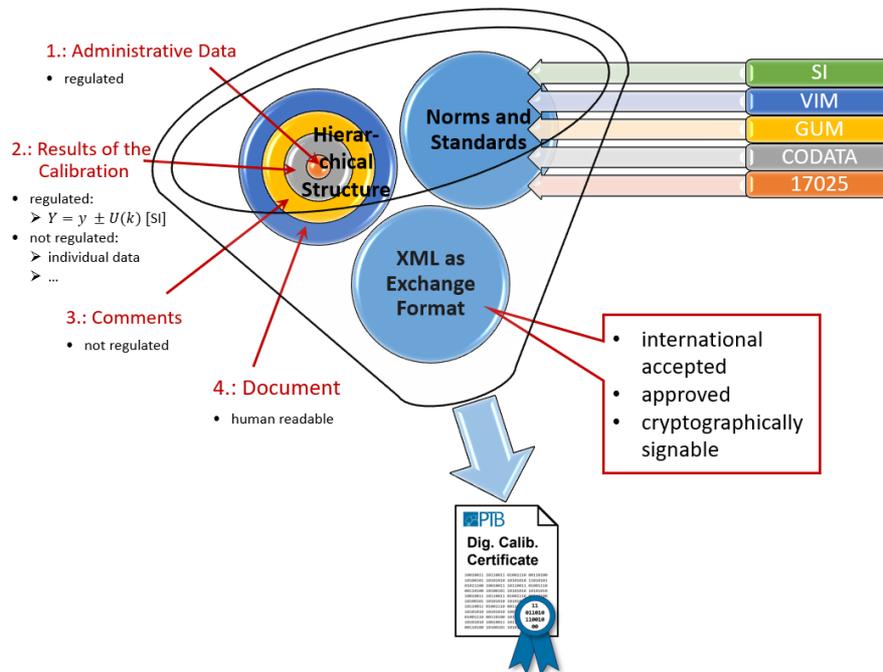


Abbildung 3 Das grundlegende Konzept des digitalen Kalibrierscheins (DCC) basiert auf der Implementierung existierender Normen und Standards in der Metrologie, einer hierarchischen Struktur und der Verwendung eines XML-Schemas.

darin enthaltenen Informationen ist jedoch durch die Beschränkung auf Papier in der Regel rein manuell möglich. Mit einem digitalen, menschen- und maschinenlesbaren Format des **Digitalen Kalibrierscheins (DCC)** werden digital unterstützte Fertigungs- und Qualitätsüberwachungsprozesse unterstützt. Darüber hinaus vervielfacht sich dadurch die Menge an Informationen, die damit direkt verfügbar gemacht werden können.

Für den **DCC** lag bereits Ende 2017 ein erstes XML-Schema vor. Dieser erste Entwurf wurde im Rahmen eines breiten PTB-internen Austauschs sowie in Gesprächen mit der DAkKS, akkreditierten DKD-Kalibrierlaboratorien und der Industrie weiterentwickelt. Momentan werden bereits die Siliziumkugeln der PTB zusammen mit dem **DCC** sowie einem **Digitalen Zwilling (Digital Twin - DT)** ausgeliefert.

Bis Ende 2018 soll eine vollständige Kette von digitalen Kalibrierscheinen von der PTB bis in die Industrie exemplarisch konzeptioniert werden und für weitere Praxistests zur Verfügung stehen. Die Ende 2018 vorliegende Version des XML-Schemas bildet die neue DIN EN ISO/IEC 17025 für den Bereich der administrativen Daten einer Kalibrierung ab. Der Bereich für die Ergebnisse der Kalibrierung ist für die realen Zahlen ebenfalls einsatzbereit. Damit können prinzipiell eine Vielzahl der bisherigen Kalibrierungen auch im **DCC** dargestellt werden. Die nächste Herausforderung ist die Angabe der Messergebnisse mit komplexen Zahlen, die z. B. im Bereich der Hochfrequenz benötigt werden. Gleichzeitig werden gemeinsam mit Kalibrierlaboratorien der PTB und anderen Partnern die weitere Anpassung des **DCC** auf die individuellen Anforderungen bei der Kalibrierung umgesetzt. Ergebnis dieser Arbeiten wird unter anderem auch die Erstellung einer Sammlung von *Good Practices* für Anwender des **DCC** sein. Eine entscheidende Rolle bei der Ausgestaltung und Umsetzung des XML-Schemas wird die Mitarbeit der PTB in zahlreichen Gremien darstellen, insbesondere die Mitarbeit im Arbeitskreis Normung der Plattform Industrie-4.0. Im Vorfeld eines internationalen Summit zum **DCC** Anfang Juni 2019 wird die dann vorliegende Version des XML-Schemas verfügbar gemacht und weiter auf internationaler Ebene bei den NMIs und den jeweiligen nationalen Akkreditierungsstellen sowie der Industrie evaluiert werden. Ziel des **DCC**-Summit soll sein, die Weichen zu stellen für eine international anerkannte Version des **DCC**.

Gleichzeitig hat die PTB bereits intensiv mit der internationalen Kooperation zu digitalen Kalibrierscheinen begonnen, um eine Abstimmung der wesentlichen Anforderungen an digitale

Kalibrierscheine zu erreichen. So gibt es innerhalb des Forschungsvorhabens SmartCom Gespräche zum **DCC** mit weiteren Metrologieinstituten, auch außerhalb von Europa. Auf europäischer Ebene hat die PTB das EURAMET-Projekt „TC-IM 1448 Development of digital calibration certificates“ initiiert, um den Austausch mit den europäischen Partnern zu intensivieren. Darüber hinaus gibt es konkrete bilaterale Pläne mit ROSSTANDART im Rahmen der Kooperationsverträge mit der PTB.

Mit maßgeblicher Beteiligung der PTB startet Ende 2018 zusammen mit dem Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut und einer Reihe anderer Partner aus Forschung und Industrie ein BMWi-gefördertes Vorprojekt „**GEMIMEG**“, bei dem unter anderem der Einsatz des **DCC** als Mittel zum sicheren Identitätsmanagement in Industrie 4.0 untersucht werden wird. Darüber hinaus werden die 5G-Messtechnik sowie kamerabasiertes Messen im industriellen Umfeld thematisiert. Das Projekt startet Ende 2018 mit einer Laufzeit von 6 Monaten mit dem Ziel, in Anwender-Workshops wesentliche Anforderungen und Forschungsbedarfe für „Sichere und robuste kalibrierte Messsysteme für die digitale Transformation“ zu identifizieren und daraus einen Vorschlag für ein Leuchtturmprojekt zu erarbeiten. Die entwickelten Technologien sollen außerdem in einem digital ertüchtigten „Kompetenzzentrum Windenergie“ zum Einsatz kommen und somit in naher Zukunft ein erstes Testfeld im realen Betrieb ermöglichen.

Darüber hinaus hat die PTB einen Forschungsschwerpunkt „Heterogene Sensornetzwerke“ eingerichtet, welcher auch auf dem EU-Projekt „Metrology for the factory of the future“ (Met4FoF) aufbaut. Das Projekt Met4FoF arbeitet von Beginn an in enger Abstimmung mit dem oben erwähnten Projekt SmartCom, um die Gewinnung metrologischer Informationen (Met4FoF) mit deren Kommunikation (SmartCom) zu verzahnen. Das Konzept „Metrology by design“ mit der SI-basierten Kommunikation metrologischer Daten wie in SmartCom wird so verknüpft mit „Smart Traceability“ aus Met4FoF als Konzept eines intelligenten Messgerätes, welches rückführbare Messdaten inklusive Unsicherheitsangaben in Echtzeit liefern kann.

Zusammen mit der Verzahnung von SmartCom und dem Projekt Metrology Cloud ergibt sich damit ein entlang der regulatorischen Rahmenbedingungen abgestuftes Konzept für Metrologie im Internet der Dinge, siehe Abbildung 4. Mit diesem Konzept deckt die PTB nahezu alle Anwendungsbereiche von hochregulierten Messgeräten bis hin zu digitalen Sensoren in der vernetzten Produktion der Zukunft ab.

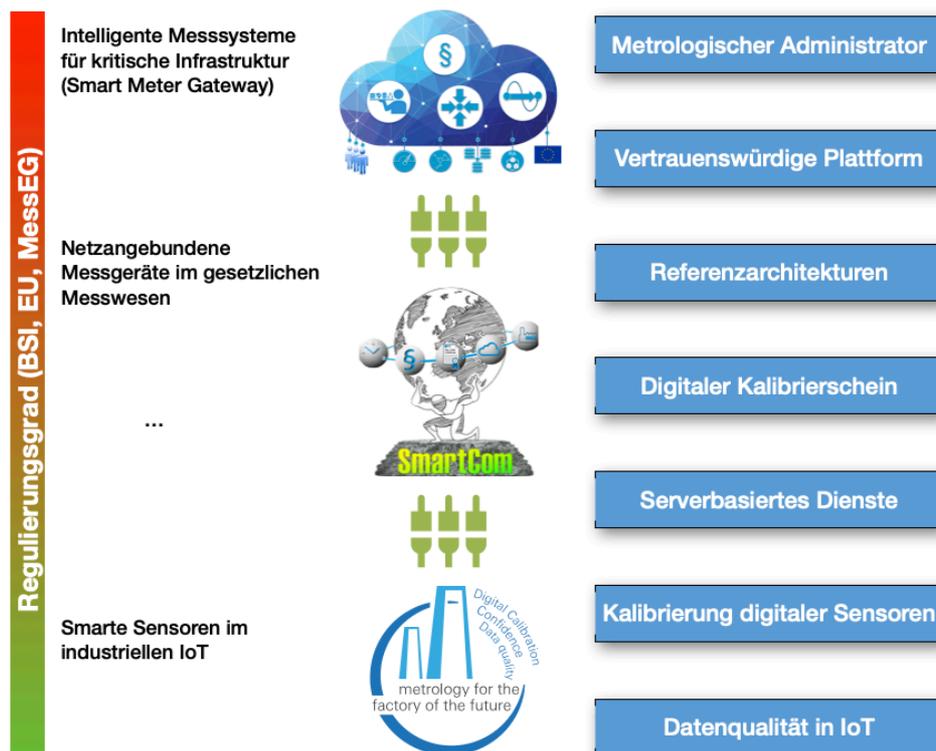


Abbildung 4 Abgestuftes Konzept der PTB für Metrologie im Internet der Dinge

Um ihren Kunden im Bereich der Konformitätsbewertung und Kalibrierung in naher Zukunft digitale, webbasierte Plattformen für die Auftragsabwicklung anbieten zu können, hat die PTB Anfang 2018 eine Projektgruppe „**Digitale Kundenplattform**“ gegründet. Diese Projektgruppe wird zeitnah voraussichtlich gemeinsam mit dem ITZ-Bund eine Softwarelösung pilotieren. Derzeit laufen die dafür notwendigen administrativen Vorbereitungen. Die Kundenplattform soll die webbasierte Einreichung von Aufträgen, den Kundenkontakt, ein Ticketsystem sowie die Bereitstellung weiterer Informationen zur Auftragsabwicklung enthalten. Dafür soll die Kundenplattform von Beginn an mit der elektronischen Akte (E-Akte) der PTB verknüpft werden. Für die Realisierung der elektronischen Aktenführung hat die PTB bereits Ende 2015 die Projektgruppe „E-Akte“ ins Leben gerufen. Es wird die Software eGov-Suite der Firma Fabasoft, welche in vielen Bundesbehörden zum Einsatz kommt. Die PTB kooperiert dazu seit einiger Zeit mit dem Robert-Koch-Institut (RKI). Auf den Funktionalitäten der Lösung des RKI entstand die Referenzlösung FAKT (Forschungsakte). Auf Basis dieser Referenzlösung wurde die PTB-Lösung realisiert. Das RKI wird ihr System zum Jahreswechsel 2018 / 2019 auf Basis von FAKT aktualisieren. Weitere RFE n planen die Realisierung ihrer E-Aktenlösungen auf Basis von FAKT. Die **E-Akte** hat in der zweiten Hälfte 2018 den Pilotbetrieb für die Bereiche EU-Projekte und

Beschaffung begonnen. Die Konformitätsbewertung folgt Anfang 2019. Im Zuge der Pilotphase werden auch Fragen zur Anwendung digitaler Signaturen konform mit der eIDAS-Verordnung sowie die Kollaboration mit externen Partnern evaluiert. Mit der Aufnahme des Wirkbetriebs wird zum 01.06.2020 gerechnet, für welchen bereits umfassende Schulungsunterlagen erstellt werden. Der Roll-out wird begleitet von einem Fachteam im Bereich **Metadaten und Thesaurus**, um einerseits die Suchfunktionen in der E-Akte zu optimieren und andererseits eine PTB-weit konsistente Behandlung von Schlagworten, Metadaten und Fachbegriffen in digitalen Plattformen zu fördern. Mit der Vernetzung heterogener Daten im Zuge der digitalen Transformation werden verlässliche Metadaten eine entscheidende Rolle für die Nachnutzbarkeit von Daten bilden.

Dieser Aspekt spielt auch im **Forschungsdatenmanagement** der PTB eine große Rolle, welches ein weiterer wichtiger Baustein der PTB-Digitalstrategie darstellt. Dazu hat die PTB bereits Mitte 2017 eine übergreifende Projektgruppe gegründet und den Bereich personell verstärkt. Ende 2017 wurde eine umfassende Konzeptstudie⁴ zu dem Thema fertiggestellt, welche nun die Grundlage für die Entwicklung und Umsetzung eines PTB-Konzepts darstellt. Als erster Schritt wurde ein webbasiertes Tool zur Entwicklung und Verwaltung von Datenmanagementplänen entwickelt, welches die Forschenden

⁴ Details unter <https://digital.ptb.de>

der PTB bei der Organisation von Drittmittelprojekten unterstützen soll. Parallel dazu werden die konkreten Bedarfe und Arbeitsabläufe der Abteilungen erfasst, um eine möglichst einfache und effiziente Erfassung, Archivierung und Bereitstellung relevanter Forschungsdaten zu ermöglichen. Dabei wird von Beginn an gemäß der FAIR-Prinzipien⁵ der EU vorgegangen: Findable, Accessible, Interoperable, Reusable. Die PTB wird außerdem aktiv mitwirken bei der Erstellung einheitlicher Standards für die Beschreibung und Notierung numerischer Faktendaten. Dazu zählen die Entwicklung eines modular aufgebauten Metadatenschemas und der

entsprechenden kontrollierten Vokabulare, die von Anfang an mehrsprachig und mit *Persistent Identifiers* versehen sein werden. Die PTB wird den Prozess mit Vorlage eines Prototyps vorantreiben und strebt eine zeitnahe Zusammenarbeit mit den Fachgemeinschaften und Wissenschaftsgremien auf internationaler Ebene an. Dazu hat die PTB bereits auf europäischer Ebene das EURAMET-Projekt „TC-IM 1449 Research data management and the European Open Science Cloud“ initiiert, um den Austausch zu *Good Practices* voranzutreiben und ein harmonisiertes Vorgehen für das Forschungsdatenmanagement zu unterstützen.

⁵ Details unter <https://go-fair.org>

Metrologie in der Analyse großer Datenmengen

Vertrauen in digitale Innovationen ist nur möglich durch Vertrauen in die verwendeten Daten und Algorithmen. Durch die Vielzahl an verfügbaren Sensoren und ihren zunehmenden Einsatz in Sensornetzwerken, die breite Anwendung bildgebender Verfahren in Industrie und Medizin sowie die ansteigende Nutzung von Simulationen wachsen die Anforderungen rasant. Beispielsweise werden für die rückgeführte Kalibrierung von Strahlenkörpern derzeit in Normungsgremien Spezifikationen für Messsysteme in Industrieanwendungen diskutiert, die zu Datenraten von etwa 3,5 TB innerhalb von 90 Minuten führen. Die Erfassung und Verarbeitung solcher Datenmengen sind technisch keine prinzipielle Herausforderung. Allerdings sind die bestehenden etablierten und international harmonisierten Methoden und Verfahren für die Messdatenauswertung und die Bestimmung von Messunsicherheiten dafür nicht ausgelegt. Die PTB entwickelt in Kooperation mit dem europäischen Zentrum „MATHMET – Mathematics and Statistics in Metrology“ Kernkompetenzen und Drittmittelanträge mit dem Fokus auf hochdimensionale Probleme und **maschinelles Lernen**, siehe Abbildung 5. Unterstützt werden die Vorhaben durch eine derzeit in Vorbereitung befindliche Professur „Unsicherheit und maschinelles Lernen“ in Kooperation mit der TU Berlin. Technologisch unterstützt werden sollen die Vorhaben im Bereich maschinelles Lernen und hochdimensionale Datenanalyse durch eine zentrale IT-Gruppe fokussiert auf die Anforderungen des wissenschaftlichen Rechnens. Diese betreibt unter anderem ein zentrales PTB-Cluster zum Hochleistungsrechnen, welches kontinuierlich weiterentwickelt wird.

Vertrauen in Algorithmen ist insbesondere im Bereich der Medizin unbedingte Voraussetzung für deren nachhaltige und verlässliche Anwendung. Das gilt vor allem für die in Zukunft vermehrt zum Einsatz kommenden Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens, zu dem unter anderem auch *Deep Learning* und *Künstliche Intelligenz* (KI) zählen. Die Aufgabe von Metrologieinstituten und Regelse tzern wird es in Zukunft sein, Referenzverfahren und Referenzdaten bereitzustellen. Dazu wird die PTB ab Mitte 2019 ein EMPIR-Projekt koordinieren, in welchem gezielt die Verwendung von Referenzdatensätzen zur Evaluierung von Algorithmen auf Elektrokardiogrammen (EKG) untersucht werden soll.

Darüber hinaus beschäftigt sich die PTB intensiv mit dem Bereich des maschinellen Lernens in mehreren Forschungs- und Industrieprojekten. Im Mittelpunkt steht dabei stets die Sicherung von Verlässlichkeit und Vertrauen in das Ergebnis der Algorithmen durch die konsistente Einbeziehung von Messunsicherheiten und Datenqualität. Aktuelle Anwendungsfelder in der PTB sind Klassifizierungsverfahren im Bereich der Batterieforschung oder die medizinische Bildgebung. Dabei ist die PTB umfangreich mit der Berliner Universitätslandschaft vernetzt und in mehreren Kooperationsprojekten aktiv beteiligt. Beispielsweise ist die PTB ein assoziierter Partner im 2018 bewilligten Exzellenz-Cluster Math+ der Berliner Universitäten und wird dort vor allem die Praxistauglichkeit von mathematischen Verfahren für industrienahen Anwendungen begleitet.

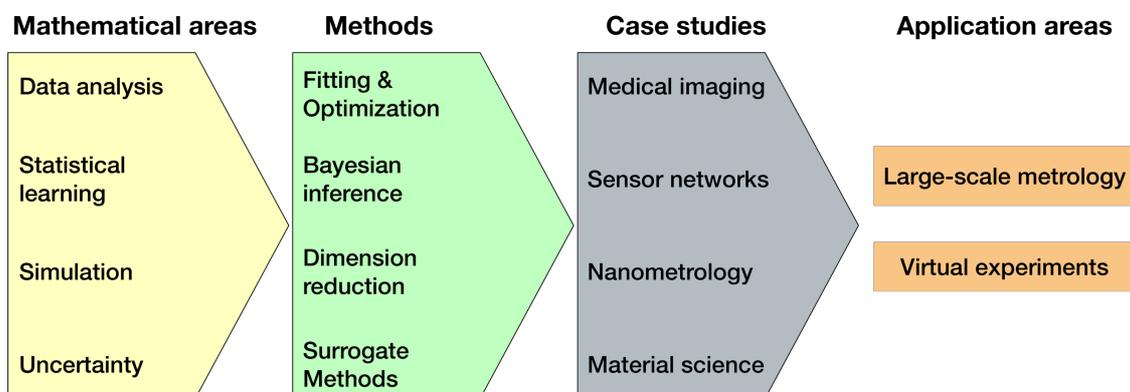


Abbildung 5 Konzept der Entwicklungen im Bereich Mathematische Modellierung und Datenanalyse

Metrologie der Kommunikationssysteme für die Digitalisierung

Die Verfügbarkeit verlässlicher, leistungsfähiger und flexibler Kommunikationswege ist eine vielfach zitierte Voraussetzung für das Gelingen der digitalen Transformation. Aktueller Fokus liegt dabei weltweit auf dem Aufbau einer 5G-Infrastruktur. Vertrauen in die Verlässlichkeit innovativer Kommunikationslösungen und deren nachhaltiger Aufbau sind nur möglich, wenn deren Charakteristiken messtechnisch erfasst werden können. Insbesondere für die Prüfbarkeit zukünftiger gesetzlicher Anforderungen, aber auch für die Sicherung des Marktzugangs entsprechender Messtechnik sind validierte, rückführbare Kalibrier- und Messeinrichtungen notwendig.

Die PTB hat dazu bereits Anfang 2018 den Bereich „Spektrumanalyse nichtlinearer Systeme“ im Rahmen ihres Trainee-Programms gestartet. Parallel wird die PTB als Teil einer DFG-Forschergruppe einen Antrag „Metrology for Terahertz-Communications“ einreichen, der sich mit Antennen- und Übertragungskanalmesstechnik im mm- und THz-Wellenbereich beschäftigt. Darüber hinaus hat die PTB bereits erste Gespräche mit der BNetzA geführt für die Rückführung der von der BNetzA angebotenen Breitbandmessungen. Hier wird aktuell die Möglichkeit erörtert, eine metrologisch validierte

Teststrecke einzurichten, um die eingesetzten Verfahren zu evaluieren. Dazu werden im Rahmen der Größtgeräteinvestitionen ein *Arbitrary Waveform Generator* und ein Echtzeitoszilloskop beschafft, mit denen sich beliebige hochbitratige digitale Datenströme erzeugen und jeweils vor und nach Übertragung durch den Hochfrequenzkanal darstellen lassen. Mitte 2018 hat die PTB außerdem Messungen an Systemen für die **5G-Technologie** gestartet. Im weiteren Verlauf sollen unter anderem smarte sowie MIMO-Antennensysteme bis in den mm-Wellenbereich untersucht werden. Angestrebt wird der Ausbau dieser Vorhaben in ein breites Forschungsvorhaben „Metrologie für 5G und darüber hinaus“. Dazu laufen bereits Kooperationsgespräche unter anderem mit dem ZVEI, diversen Gruppen in der Informationstechnischen Gesellschaft des VDE im Fachbereich Hochfrequenztechnik sowie dem Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut (HHI). Außerdem bestehen sehr gute Kontakte zu den Herstellern von Hochfrequenz-Messgeräten, mit denen Basisstationen und Endgeräte der neuen Mobilfunkstandards auf Interoperabilität und Einhaltung der Spezifikationen in Entwicklung und Produktion untersucht werden.

Seit Ende 2018 ist die PTB ebenfalls aktiv in die Vorbereitungen einer 5G-Region im Raum Wolfsburg-Braunschweig eingebunden.



Abbildung 6 Aspekte und Anforderungen an die metrologische Infrastruktur für 5G

Metrologie für Simulationen und virtuelle Messgeräte

Im Zuge der Digitalisierung nimmt die Bedeutung von Simulationen und *in-silico*-Experimenten rasant zu. In vielen Bereichen sind sog. „virtuelle Messungen“ als Simulationen auf Grundlage physikalisch-mathematischer Modellierung und statistischer Methoden inzwischen im alltäglichen Einsatz. So verwenden manche Unternehmen beispielsweise virtuelle Abbilder von Bauteilen und Simulationen des Konstruktionsprozesses für die Planung und Qualitätssicherung. In anderen Bereichen dienen Simulationen dazu, ein besseres Verständnis für das reale Experiment zu erhalten, neue Versuche zu planen oder bestehende Versuche auszuwerten. Inzwischen werden auch vermehrt Simulationen als essentieller Bestandteil der Messung verwendet, in der Regel als Bestandteil eines inversen Problems. In dieser Entwicklung ist die Aufgabe der Metrologie die Sicherung von Vertrauen in Simulationsergebnisse, wenn diese in derselben Weise wie reale Messungen verwendet werden sollen. Konkrete existierende Beispiele an der PTB dafür sind unter anderem das Tilted-Wave Interferometer (TWI) der Firma Mahr oder das Virtuelle Koordinatenmessgerät (VCMM) der PTB.

In einem von der PTB organisierten nationalen Workshop „**Metrologie für virtuelle Messgeräte**“ im März 2018 wurden für diese und andere Anwendungsbeispiele folgende übergeordnete Fragestellungen und Querschnittsaufgaben identifiziert:

1) Wie sichert man Vertrauen in Simulationsergebnisse?

- 2) Wie stellt man Vergleichbarkeit von virtuellen und realen Messungen her?
- 3) Welche Standards für Schnittstellen, Metadaten und Datenformate sind notwendig?
- 4) Wie können virtuelle Experimente für komplexe Messsysteme mit großen Datenmengen mit Hilfe von Methoden des maschinellen Lernens behandelt werden?

Die Behandlung dieser Fragestellungen durch die PTB erfordert eine kontinuierliche und intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit. Darüber hinaus soll die Sichtbarkeit der Expertise der PTB in diesem Bereich verstärkt werden, um die Standardisierung und Kooperation mit externen Partnern weiter zu verbessern. Aus diesem Grund hat die PTB das **Kompetenzzentrum VirtMess** „Metrologie für virtuelle Messgeräte“ eingerichtet, in welchem die vorhandene Expertise gebündelt und der interdisziplinäre Austausch kontinuierlich vorangetrieben wird. Das Kompetenzzentrum wird darüber hinaus mit einer gemeinsamen Außendarstellung sowie der Ausrichtung regelmäßiger Workshops den Austausch und die Kooperation mit externen Partnern in diesem Bereich weiter stärken. Die vorhandene exzellente Kompetenz der PTB-Fachbereiche auf dem Gebiet der virtuellen Messungen und Simulationen wird damit nachhaltig gestärkt und weithin sichtbar. Mit einfließen werden unter anderem die bestehenden virtuellen Messgeräte der PTB für taktile Koordinatenmessungen (VCMM) und optische

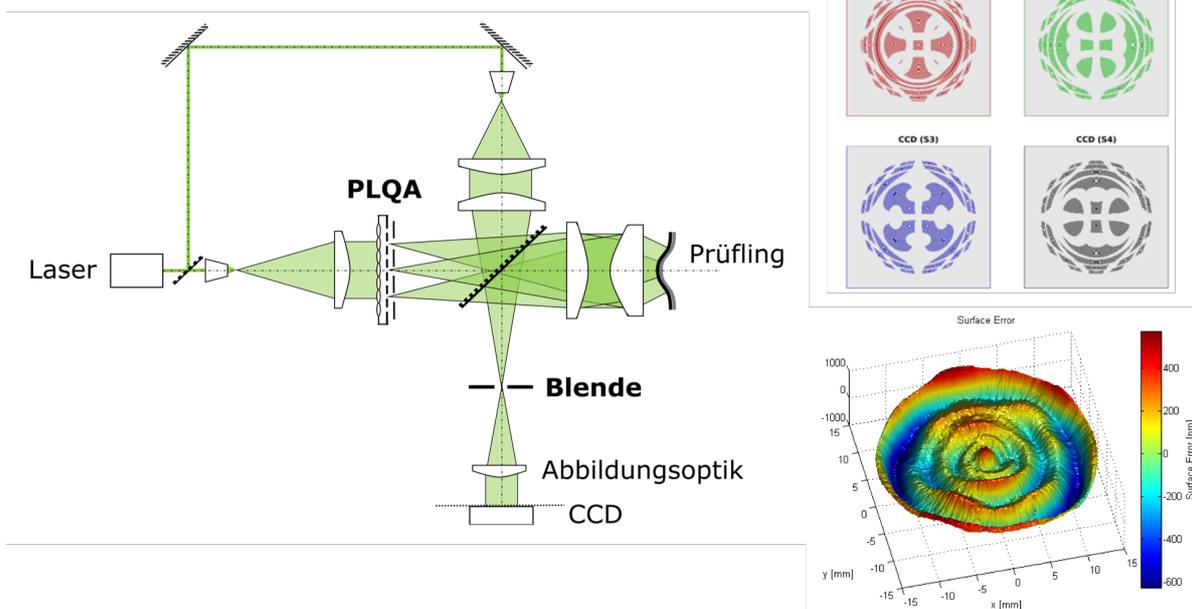


Abbildung 7 Das Tilted-Wave Interferometer (TWI) als Beispiel für eine Integration von realer und virtueller Messung.

Messtechnik (SimOptDevice). Diese spiegeln die große Kompetenz der PTB im Bereich physikalisch-mathematischer Simulationsverfahren wider und werden kontinuierlich weiterentwickelt, primär getrieben von Drittmittelprojekten. So läuft derzeit unter anderem die Entwicklung eines Konzepts für ein Testfeld zum Einsatz des VCMM in der 3D-Koordinatenmessung, während für SimOptDevice eine Erweiterung zur Berücksichtigung von Beugungseffekten vorbereitet wird. Darüber hinaus wurden im

Zuge der Vorbereitungen des Kompetenzzentrums bereits eine Vielzahl möglicher übergreifender Kooperationsprojekte identifiziert und ausgearbeitet. Dabei spielen neben der Entwicklung metrologischer digitaler Zwillinge und deren Verknüpfung mit dem digitalen Kalibrierschein auch neue mathematisch-physikalische Simulationsverfahren unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten eine Rolle.

Weitere Herausforderungen und Ausblick

Die seit der Digitalisierungsstudie 2017 aufgegriffenen Arbeiten und Vorhaben bilden die Basis für die zukünftige Gestaltung der Digitalisierungsstrategie der PTB. Vielfach legen diese Vorhaben den Grundstein für weitere Entwicklungen und schaffen die notwendigen Voraussetzungen für eine umfassende Digitalisierung.

So wird sich die PTB im Schwerpunktbereich „Analyse großer Datenmengen“ in Zukunft auch intensiv mit Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) beschäftigen, basierend auf den Entwicklungen im Bereich des maschinellen Lernens. Die Metrologie bildet die Basis für Wirtschaft und Industrie. Ohne die zuverlässige Weitergabe der Einheiten und dem Setzen weltweiter Standards wäre das heutige, globale Wirtschaftsleben nicht möglich. Die klassische Metrologie erreicht diese Ziele durch das Bereitstellen hochgenauer Messmethoden, durch Referenzdaten und validierte Auswerteverfahren. Dieses Portfolio wird aber der zukünftigen Entwicklung nicht mehr gerecht, wenn das klassische Messwesen vermehrt durch KI beeinflusst wird. Die Metrologie wird schon jetzt zunehmend von Software und Algorithmen zur Analyse der gewonnenen Messdaten dominiert, und dabei kommen bereits jetzt in einzelnen Bereichen auch Verfahren der KI zum Einsatz. Die Sicherstellung der Zuverlässigkeit des zukünftigen Messwesens wird eine massive Transformation der Aufgaben in der heutigen Metrologie erfordern, bei der mathematische und statistische Methoden eine wesentliche Rolle spielen werden. Ebenso sind einheitliche Datenformate der Messdaten und verlässliche Kommunikationsprotokolle unabdingbar, damit die KI die Messdaten ohne Umwege und ohne Fehlinterpretationen nutzen kann. Diese Entwicklungen erfolgreich zu meistern, stellt für die Metrologie eine große Herausforderung dar. Während KI völlig neue Möglichkeiten z.B. in der Steuerung und Optimierung großer, vernetzter Systeme ermöglicht, müssen andererseits auch Risiken ausgeschlossen werden können, insbesondere bei Anwendungen in sicherheitsrelevanten Bereichen (z.B. autonomes Fahren). Während klassische Algorithmen mathematisch verifiziert werden können, kann dies bei selbstlernenden Algorithmen nicht mehr in der gleichen Weise erfolgen. Hierfür werden neue, zuverlässige, anerkannte und standardisierte „Messverfahren“ benötigt. Die Metrologie mit ihrer Expertise im Bereich der Zulassung und des gesetzlichen Messwesens, ihrem breiten Forschungspotential, und nicht zuletzt mit ihrem wachsenden Know-how im Bereich Mathematik und KI spielt hier eine zentrale Rolle.

Auch im Bereich der Biochemie und personalisierten Medizin spielen Referenzdaten und Referenzverfahren eine entscheidende Rolle für den verlässlichen Einsatz von KI-Methoden. Dazu wird die PTB in einem 2019 startenden, nationalen Innovationsraum „BioDigit“ beteiligt sein. Der Innovationsraum BioDigit - Triggering Sustainable Bioeconomy - hat sich zum Ziel gesetzt, innovative Plattformen für die Ressourcen- und energieeffiziente Erforschung, Entwicklung und Implementierung biobasierter Produkte und Prozesse zu entwickeln. Dies geschieht auf Basis wissenschaftlicher Methoden, umfassender Digitalisierung, Bildung, Technologietransfer und Wirksamkeitsuntersuchungen. Die PTB will hier mit Hilfe von Referenzverfahren und Referenzmessungen zu einem digitalen Workflow von der Diagnose bis zur individuellen Therapie beitragen.

In Zukunft werden außerdem datengetriebene Forschungsprojekte entstehen. Bei diesen wird die Fachexpertise nicht verwendet, um neue Experimente zu entwickeln. Stattdessen werden bestehende Daten unter Umständen von Experimenten anderer neu ausgewertet und in Beziehung gesetzt, um damit gezielt Fragen zu beantworten. Das ist eine ganz neue Herangehensweise, die erst durch Open Science und Open Data ermöglicht wird. Die PTB unterstützt diesen Prozess aktiv und hat sich dazu unter anderem dem Ausbau der offenen Forschungsdaten verschrieben. Dazu gehört ein umfassendes Forschungsdatenmanagement mit den entsprechenden organisatorischen und technologischen Grundlagen. Begleitet wird dieser Prozess von einer breit aufgestellten Projektgruppe und einer international vernetzten Strategieentwicklung. Das schließt auch die Schaffung von einheitlichen Standards für die Angabe der Messgrößen und Maßeinheiten bei der Beschreibung numerischer Faktendaten mit ein. Mit international abgestimmten Dokumenten wie dem GUM oder dem VIM liegen dokumentierte Vokabulare grundsätzlich vor, die die Basisterminologie der Metrologie einheitlich darstellen. Im Zuge der Digitalisierung bedarf es jedoch weiterer spezifischer Vokabulare, beispielsweise für die Auffindbarkeit von Informationen durch Algorithmen. Dazu können zum Beispiel Vokabulare und normierte Begriffslisten mit *Persistent Identifiers* (PID) schon bei der Erstellung von Metadaten helfen, um diese maschinenlesbar und weltweit sprachenneutral zugreifbar zur Verfügung stehen. Dieser Herausforderung stellt sich die PTB konkret durch die Schaffung von Metadaten-Schemata und Vokabularen, die eine eindeutige, lückenlose und plattformunabhängige Informationsübertragung für die Wissenschaft und die Industrie ermöglichen,

aber gleichzeitig die notwendige Flexibilität für künftige Entwicklung beibehält. Für den Bereich der Kalibrierdaten ist der DCC ein konkretes Beispiel für die Umsetzung dieser Ziele. Ein ähnlicher Ansatz wird zum Beispiel ebenfalls untersucht bei der Sensor-Software-Kommunikation oder bei der Metadateinspeisung in ein Datenportal.

Im Zuge der Digitalisierung der Industrie rückt auch die Verknüpfung verschiedener Datenquellen in den Fokus bei der Entwicklung neuer Prozesse und Geschäftsmodelle. Im geplanten Kompetenzzentrum Photovoltaik (PV) der PTB geht es dazu insbesondere um die Untersuchung, Entwicklung und Anwendung von spektral- und winkelaufgelösten Monitorkonzepten und Messtechnik zur Verbesserung der Messtechnik für die Leistungsüberprüfung von Solarparks. Die erhaltenen Onlinedaten sowie die historischen Daten sollen Online als Open Data verfügbar gehalten werden, damit andere Gruppen diese Daten z.B. als hochgenaue Stützstelle für Satellitenauswertungen nutzen können. Dazu wird die Ausgestaltung des Kompetenzzentrums PV von Beginn an eng verknüpft mit der Entwicklung des digitalen Kalibrierscheins sowie dem Forschungsdatenmanagement.

Die Verknüpfung und Vernetzung von Sensordaten und Informationen spielen insbesondere beim Einsatz von Sensornetzwerken eine entscheidende Rolle. Solche Netzwerke stellen für die Metrologie aus vielerlei Hinsicht eine Herausforderung dar. So müssen Sensornetzwerke teilweise wie Einzelmessgeräte metrologisch und neuartige Messgrößen behandelt werden. So stellt sich bereits im EMPIR-Vorhaben Met4FoF die Frage nach der metrologischen Betrachtung des vielfach angewendeten *Condition Monitoring*. Die wesentliche Frage ist dabei die genaue Definition der eigentlichen Messgröße. Hinzu kommt die häufig durch Anwendung von Edge- und Fog-Computing flexible Nutzung eines Sensornetzwerkes. Für die metrologische Betrachtung und Messdatenauswertung sind entsprechend flexible und robuste Modellierungs- und Methodenwerkzeuge notwendig. Im Rahmen eines BMBF-geförderten Projekts wird die PTB dazu gemeinsam mit dem Fraunhofer FOKUS und anderen Partnern Anfang 2019 die Weiterentwicklung und Implementierung bestehender Methoden der Sensormodellierung und der Analyse von Sensornetzwerken für konkrete industrielle Testfelder umsetzen. Dieses Projekt verbindet die Arbeiten des EMPIR-Vorhabens Met4FoF mit der Expertise der PTB im Bereich

der mathematischen Modellierung Datenanalyse, um anwendungsnahe metrologische Ansätze in der vollständig vernetzten Produktion zu realisieren.

Ebenso stellen die zunehmend kamerabasierten Messverfahren, beispielsweise in der Fertigungstechnik und Qualitätskontrolle enorme Herausforderungen an die zugrundeliegende metrologische Infrastruktur dar. So werden optische Messverfahren auch wegen ihrer kürzeren Messzeiten und flächenhaften Objekterfassung vermehrt taktilen Messverfahren vorgezogen. Letztere stellen in vielen Bereichen noch immer die anerkannte Referenz dar, werden hinsichtlich Genauigkeit und Verlässlichkeit aber von optischen und kamerabasierten Verfahren zunehmend eingeholt. Darüber hinaus ergeben sich für viele kamerabasierten Messverfahren neue Möglichkeiten zur direkten Anwendung von KI-Verfahren, zum Beispiel zur automatisierten Qualitätskontrolle durch Mustererkennung.

Im Rahmen des BMWi-geförderten Projekts „GEMIMEG“ wird die PTB mit den Projektpartnern auch zu diesem Bereich eine umfassende Erfassung des Forschungsbedarfs mit Hilfe von Anwender-Workshops durchführen.

Die Sicherheit von Informationen und Daten ist ein wesentlicher Aspekt bei allen Aktivitäten und Vorhaben der PTB. Neben „Metrology by design“ als Prinzip der Berücksichtigung metrologischer Aspekte im gesamten Produktlebenszyklus, spielen „Security by design“ und „Privacy by design“ eine zentrale Rolle an der PTB. Das gilt ebenso für die internen Digitalisierungsprozesse als auch für die Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. So gehören Schutzbedarfsfeststellungen, Risikoanalysen und die Ableitung entsprechender Maßnahmen für die Arbeitsprozesse der PTB zur selbstverständlichen Aufgabe bei der Einführung digitaler Werkzeuge und Prozesse. Neue Herausforderungen ergeben sich dabei durch die zunehmende Vernetzung der PTB-Infrastrukturen mit externen Partnern und Dienstleistern. So entstehen mit der Nutzung von kommerziellen Cloud-Diensten durch die Forschenden der PTB organisatorische und technische Herausforderungen. Diesen zu begegnen wird in Zukunft nicht nur interdisziplinäre Kooperationen bedürfen, sondern auch eine kontinuierliche und nachhaltige Bewusstseins- und Verantwortungsbildung benötigen. Die PTB greift damit auch Empfehlungen wie die der Hochschulrektorenkonferenz (HRK)⁶ konsequent auf. Die Informations- und Datensicherheit bilden vor allem auch in den Entwicklungen für die digitale

⁶ <https://www.hrk.de/positionen/beschluss/detail/informationssicherheit-als-strategische-aufgabe-der-hochschulleitung/> (November 2018)

Transformation der Prozesse im gesetzlichen Messwesen eine wesentliche Rolle. Neben der Einhaltung strenger regulatorischer und gesetzlicher Vorgaben sind der Schutz der Daten und Informationen Voraussetzung für die Akzeptanz bei den Stakeholdern in der Qualitätsinfrastruktur. Um die Prozesse zwischen den Partnern im gesetzlichen Messwesen digital sicher abzubilden werden dazu von der PTB Methoden auf Basis von *distributed ledger* Technologien (DLT), bzw. Blockchain-Technologien, entwickelt. Diese werden in Zukunft auch in anderen Bereichen, wie beispielsweise der gegenseitigen Anerkennung von Kalibrierzertifikaten, intensiv evaluiert werden.

In ihren Aktivitäten und Vorhaben in der Digitalisierung setzt die PTB von Beginn an auf eine intensive und umfassende internationale Kooperation. So koordiniert die PTB aktuell den Aufbau eines europäischen Netzwerkes für die Digitalisierung metrologischer Dienstleistungen. Als erster Schritt wurden dazu EURAMET-Projekte im Technical Committee „Interdisciplinary Metrology“ initiiert. Diese werden in der ersten Jahreshälfte 2019 mit der Organisation gemeinsamer Workshops die Grundlagen legen für die Gründung eines EURAMET-Netzwerkes (EMN). Darüber hinaus erarbeiten die PTB und Rosstandart

derzeit eine Kooperationsvereinbarung für 2019-2021. In diese fließen mehrere gemeinsame Digitalisierungsprojekte mit ein, welche von einem gemeinsamen Arbeitskreis „M4D“ begleitet werden sollen.

Neben diesen Aktivitäten treibt der Bereich „Internationale Zusammenarbeit“ der PTB die Digitalisierung der Qualitätsinfrastruktur weltweit voran. Dazu wird aktuell eine umfassende Digitalisierungsstrategie entwickelt, welche sich auch an der Strategie des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) orientiert. Ein wesentliches Element dieser spezialisierten PTB-Strategie ist die Umsetzung eines „Digital by Default“ in allen Projekten. Das bedeutet, dass in allen Kooperations- und Entwicklungsprojekten auch in diesem Bereich von Beginn an die digitale Transformation berücksichtigt und mitgedacht wird. Darüber hinaus wird es mehrere ganz konkrete Digitalisierungsprojekte mit Partnerländern geben.

In ähnlicher Weise ist die PTB mit vielen internationalen und nationalen Partnern in engem Austausch und in vielen Kooperationsprojekten aktiv. Das gemeinsame Kernziel ist dabei die Sicherstellung von Vertrauen und Verlässlichkeit im internationalen Messwesen im digitalen Zeitalter.



Kontakt

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Dr. Sascha Eichstädt
Präsidiale Stabsstelle
Telefon: 0531 592-2008
E-Mail: sascha.eichstaedt@ptb.de
<https://digital.ptb.de>