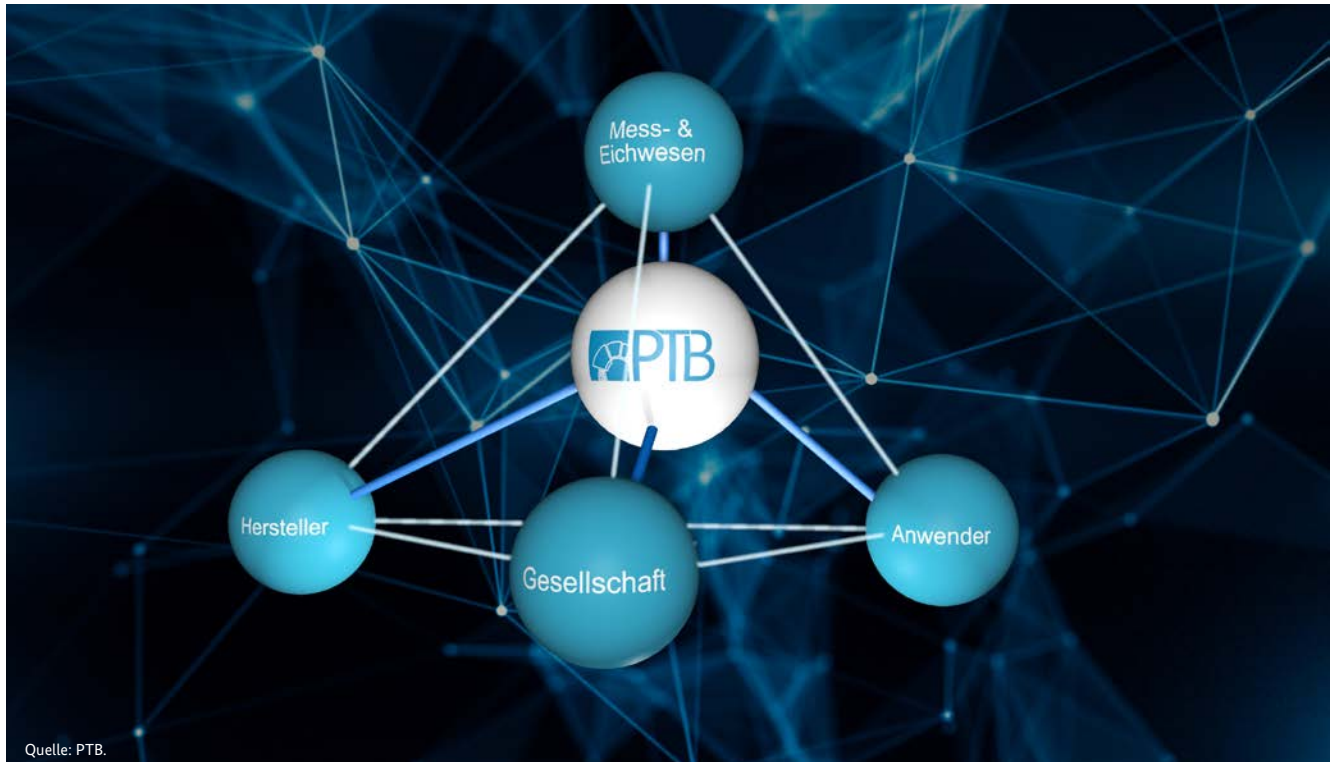


Metrologie und Digitalisierung

Welche Rolle spielt die Metrologie bei der Digitalisierung unserer Gesellschaft?

Die Metrologie, die Wissenschaft des Messens, besitzt seit jeher eine große Bedeutung für das Zusammenleben der Menschen. Seit Beginn unserer Zivilisation ist sie Voraussetzung für den Tausch von Waren und die Entwicklung des Handels. Die Metrologie gibt uns Methoden an die Hand, um Größen wie Masse oder Volumen objektiv und verlässlich zu bestimmen. Der technologische Fortschritt und insbesondere die Digitalisierung haben die Grenzen der Metrologie erheblich erweitert.

Abbildung 1: Zentrale Rolle der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) im Mess- und Eichwesen



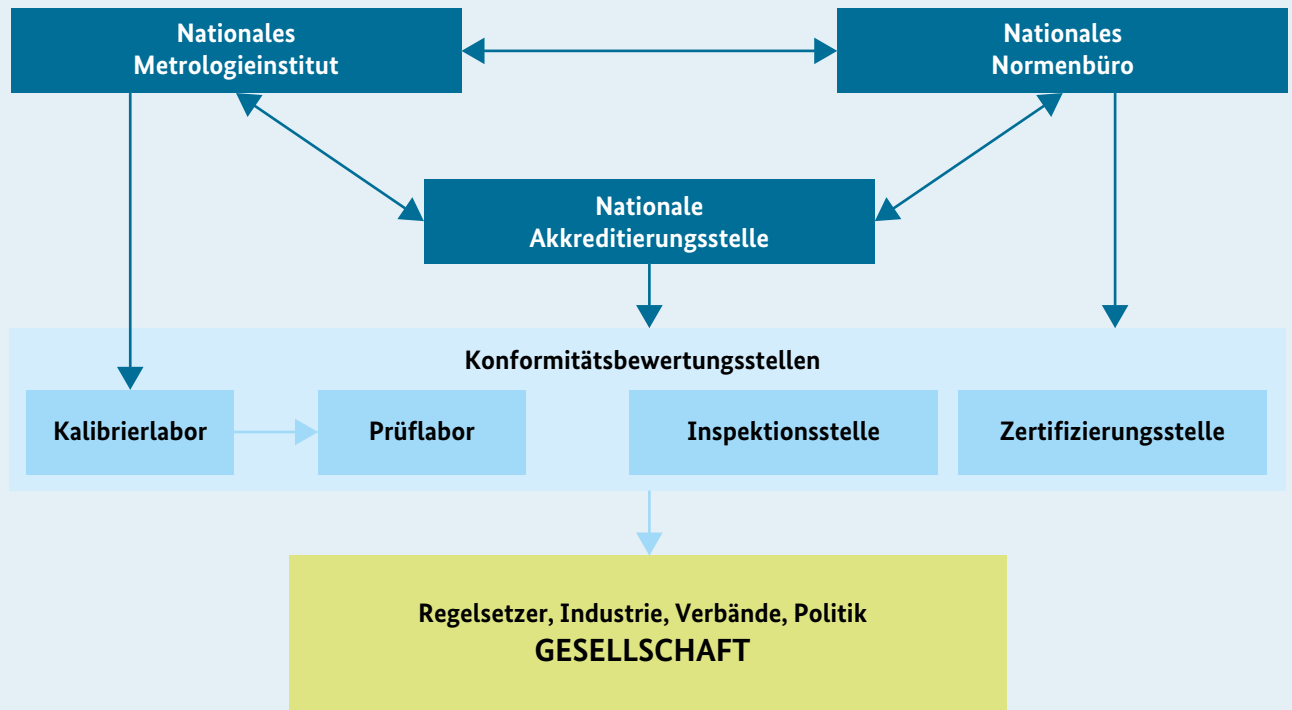
Metrologie als wesentliches Element der Qualitätsinfrastruktur

Die Metrologie unterscheidet heute neben dem wissenschaftlichen Messwesen zwischen industriellem und gesetzlichem Messwesen. Allein im industriellen Messwesen haben deutsche Messgerätehersteller einen Weltmarktanteil von 30 – 50 Prozent. Im gesetzlich geregelten Bereich sind in Deutschland über 160 Millionen Endgeräte im Einsatz. Europaweit sind es 850 Millionen Messgeräte von rund 900 europäischen Herstellern. Im Jahr 2017 sind in Deutschland im amtlichen Verkehr unter Verwendung geeichter Messgeräte alleine für Kraftstoffe und Heizöl Energiesteuern in Höhe von rund 41 Milliarden Euro und für Strom rund 6,9 Milliarden Euro an Stromsteuern angefallen¹. Diese Zahlen unterstreichen die wirtschaftspolitische Bedeutung der Metrologie.

Eine besondere Rolle nimmt dabei die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ein. Sie ist als nationales Metrologieinstitut in Deutschland verantwortlich für die Darstellung und Weitergabe der physikalischen Einheiten und sorgt an der Spitze der Kalibrierhierarchie für die Rückführbarkeit der physikalischen Einheiten auf metrologische Standards, die sogenannten Normale. Diese Normale werden mit Metrologieinstituten weltweit mit höchster Genauigkeit abgeglichen und über die Kalibrierhierarchie an akkreditierte Kalibrierlabore und darüber hinaus weitergegeben. Auf diese Weise sind Millionen von Messungen – über Kalibrierketten – auf Normale der PTB zurückzuführen. Besonders eindrucksvoll zeigt sich das am Beispiel der Messung der Effizienz von Solarzellen: Über 50 Prozent aller Solarmodule weltweit sind über die Kalibrierkette mit den Standards der PTB verknüpft.

1 <http://bit.ly/2LWJA8GI>

Abbildung 2: Elemente der Qualitätsinfrastruktur



Die Kalibrierung ist Teil einer komplexen und leistungsfähigen Infrastruktur – der sogenannten Qualitätsinfrastruktur. Sie stellt sicher, dass die Messgeräte im Rahmen definierter Messunsicherheiten verlässlich arbeiten und die Rückführbarkeit der Messergebnisse gegeben ist. Die Qualitätsinfrastruktur ermöglicht mit einer Vielzahl von Akteuren metrologische Dienstleistungen, wie Kalibrierung, Eichung und Konformitätsbewertung.

Abbildung 2 zeigt die wesentlichen Elemente der Qualitätsinfrastruktur und deren Wechselbeziehungen. Die Qualitätsinfrastruktur zielt darauf ab, Anforderungen an Produkte und Dienstleistungen zu definieren und deren Umsetzung sicherzustellen.

Neben der PTB sind weitere wichtige Akteure in die Qualitätsinfrastruktur eingebunden, beispielsweise die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) und das Deutsche Institut für Normung (DIN). Darüber hinaus leisten die Landeseichbehörden mit rund einer Million Eichungen pro Jahr einen wichtigen Beitrag für das gesetzliche Messwesen.

Die Qualitätsinfrastruktur basiert auf einem komplexen Zusammenspiel der Akteure und einem verlässlichen Austausch von Informationen und Daten. Viele der bestehenden Prozesse laufen dabei heute noch auf dem Papierweg und sind wenig vernetzt.

Elektrische Energie

In der Bundesrepublik Deutschland wird jährlich elektrische Energie im Wert von etwa 50 Milliarden Euro abgerechnet, entsprechend einem Verbrauch von rund 480 Milliarden kWh. Damit alles mit rechten Dingen zugeht, messen 42 Millionen Elektrizitätszähler den privaten Verbrauch in Haushalten und 650 000 über Messwandler angeschlossene Zähler den Energieverbrauch in der Industrie. Alle diese Messgeräte sind über eine Kalibrierkette auf das Normal für elektrische Leistung der PTB zurückgeführt. Dieses Normal nutzt das in der PTB entwickelte Verfahren der synchronen Abtastung und weist im weltweiten Vergleich die geringste Messunsicherheit auf. Damit wird sichergestellt, dass beim Verbraucher die elektrische Energie mit der erforderlichen Genauigkeit gemessen wird.

Elektrizitätszähler oder Messwandler, die zu Verrechnungszwecken eingesetzt werden, brauchen eine anerkannte Zulassung. Die PTB führt dazu nationale oder europäische Bauartprüfungen durch und erteilt pro Jahr im Schnitt 70 entsprechende Genehmigungen. Voraussetzung dafür ist, dass die Geräte alle messtechnischen Prüfungen bestanden haben, in denen ihre späteren Einsatzbedingungen möglichst realis-

tisch simuliert werden. Um die verstärkte Nutzung regenerativer Energien zu fördern und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, führt die PTB Forschungsarbeiten zum Ausbau intelligenter Stromnetze („Smart Grids“), zur Versorgungsqualität und zum verlustarmen Energietransport über große Entfernungen mit Hilfe der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung durch.

Quelle: PTB-Infoblatt zu Elektrizität.

Die digitale Qualitätsinfrastruktur

Die Qualitätsinfrastruktur der Zukunft wird mit der Digitalisierung ein völlig neues Erscheinungsbild bekommen. So werden Informationen der Kalibrierung von Messgeräten maschineninterpretierbar als digitaler Kalibrierschein weitergegeben und programmierbare digitale Schnittstellen (sogenannte APIs) ermöglichen die Vernetzung von metrologischen Dienstleistungen.

Darüber hinaus wird an der Realisierung von sogenannten digitalen Zwillingen gearbeitet. Diese digitalen Repräsentationen beinhalten alle verfügbaren Informationen über Messprozesse, Messgeräte und Messnormale. Sie erlauben über hinterlegte mathematisch-physikalische und messtechnische Modelle konkrete Aussagen über Verhaltensweisen und Zustände ihres physischen Gegenstücks. Durch Kopplung mit realen Sensordaten können diese Werkzeuge für die messprozessbegleitende Messunsicherheitsermittlung, die vorausschauende Wartungs- und Nutzungsplanung (Predictive Maintenance) oder ein voll digitales Qualitätsmanagement eingesetzt werden. Somit erlauben digitale Zwillinge eine Verknüpfung der Vorteile von realen Messungen und von computergestützten, also virtuellen Auswertungen in einer einfachen und direkten Art und Weise. Eine erste Realisierung eines digitalen Zwillings ist das „digitale Gewichtsstück“ der PTB. Es enthält sowohl die Informationen aus Kalibrierungen als auch simulationsbasierte Abschätzungen zum erwarteten Verhalten des Massestücks bei bestimmten Umgebungsbedingungen. Die Herausforderung für die Metrologie liegt hierbei in der Validierung der Simulationsverfahren und der mathematischen Modelle. Gleichzeitig bieten sich durch die Integration der Kalibrierinformationen in digitale Zwillinge eine Vielzahl neuer Möglichkeiten für die Weitergabe von Kalibrierungen und die Digitalisierung



der Rückführungskette. So wird es beispielsweise möglich, dass sich Messgeräte automatisch in ihre Umgebung einpassen, indem die digitalen Informationen und der digitale Zwilling als Verbindungsstück zwischen physischem Messgerät und computergestützter Steuerung des Gesamtsystems agiert.

„Es geht ganz wesentlich um die digitale Ertüchtigung der gesamten Qualitätsinfrastruktur und aller Geschäftsprozesse im industriellen und gesetzlichen Messwesen.“

Prof. Dr. Joachim Ullrich, Präsident der PTB, auf der Veranstaltung „Metrologie als Fundament für die Digitalisierung“ am 10. April 2018.

Die Vorstellungen gehen aber heute noch weiter. Die PTB arbeitet bereits mit Partnern an einer sogenannten „Metrology Cloud“. Diese soll zunächst auf Deutschland begrenzt sein, zukünftig jedoch auf Europa erweitert werden. Das Konzept der „Metrology Cloud“ sieht eine an den Anforderungen des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) orientierte vertrauenswürdige Plattform mit einem „metrologischen Administrator“ vor. Auf dieser Plattform werden die wesentlichen Prozesse im gesetzlichen Messwesen mit allen beteiligten Akteuren (Hersteller, Verwender, Landeseichbehörden, Konformitätsbewertungsstellen) geräte- und anwendungsspezifisch digital abgebildet².

2 Weitergehende Informationen in F. Thiel „Digital transformation of legal metrology – The European Metrology Cloud“, OIML Bulletin, vol. LIX, 2018(1), pp. 10–21.



Der digitale Kalibrierschein, der digitale Zwilling und die „Metrology Cloud“ sind wichtige Beispiele zur digitalen Ertüchtigung der Qualitätsinfrastruktur. Nur durch die Ertüchtigung der Qualitätsinfrastruktur können Effizienzpotenziale ausgeschöpft werden, um die Technologielücke zwischen der innovationsgetriebenen Wirtschaft und den Prüf-, Kalibrier- und Konformitätsbewertungsstellen zu schließen. Das ist eine wesentliche Aufgabe der kommenden Jahre, damit die Qualitätsinfrastruktur durch die Sicherung hoher Qualitätsstandards von neuen Produkten und Dienstleistungen eine schnelle Marktdurchdringung ermöglicht.

Digitalisierung im Messwesen

Die Digitalisierung bringt erhebliche Herausforderungen und neue Wirkungsbereiche für die Metrologie und das Messwesen mit sich. Zu nennen sind das Internet der Dinge, smarte Sensoren, Cloud-Lösungen, Big Data, maschinelles Lernen und viele andere.

So ist mit dem Voranschreiten der Digitalisierung ein exponentielles Datenwachstum zu verzeichnen. Immer dann, wenn diese Daten über Messungen gewonnen werden, ist auch die Qualitätsinfrastruktur gefragt. Das betrifft heute eine Vielzahl von Anwendungsfeldern unter anderem in

Produktionsprozessen in Fabriken, beim Sammeln und Auswerten von Wetter-, Verkehrs- oder Umweltdaten bis hin zur Diagnose eines Krankheitsbildes beim Menschen und vieles mehr.

Ein prominentes Beispiel ist das autonome Fahren: Der Einsatz multimodaler Messtechnik, vernetzter Sensoren und datenbasierter Entscheidungsverfahren auf der Basis von Künstlicher Intelligenz (KI) zeigt sich dort auf engstem Raum. Hier müssen Sensoren zukünftig die Augen und Sinne des Fahrers ersetzen und intelligente Algorithmen verlässliche und ethisch korrekte Entscheidungen im Bruchteil von Sekunden treffen können. Derzeit wird zum einen die technische Machbarkeit des autonomen Fahrens erprobt und zum anderen werden rechtliche und ethische Fragestellungen diskutiert. Die heute verwendeten Algorithmen sind noch nicht so weit ausgereift, dass Fehlinterpretationen der tatsächlichen Fahrsituation ausgeschlossen werden können. Es reicht demnach nicht, die korrekte Arbeitsweise der eingesetzten Sensorik zu validieren. Zusätzlich werden Verfahren benötigt, um die Qualität der Aussagen von Methoden des maschinellen Lernens und der automatisierten Entscheidungsfindung quantifizieren zu können. Hinzu kommt, dass für die Entscheidung unter Umständen nicht die Qualität der einzelnen Sensoren (z. B. Lidar, Ultraschall) allein entscheidend ist, sondern vielmehr das Zusammenspiel von Sensorik und Datenanalyse.

Eine weitere Herausforderung der Digitalisierung für das gesetzliche Messwesen ergibt sich aus dem Spannungsfeld zwischen technologischer Innovation und komplexen rechtlichen Rahmenbedingungen. Das Mess- und Eichgesetz (MessEG) und die Mess- und Eichverordnung (MessEV) als nationale Ausprägung von europäischen Richtlinien sowie die technischen Vorgaben der PTB und des BSI bilden dabei im Wesentlichen den rechtlichen Rahmen für den Einsatz von smarten vernetzten Messgeräten in dem auf Messdaten beruhenden amtlichen und geschäftlichen Verkehr.

„Die größte Herausforderung bei der Digitalisierung liegt darin, allen den Nutzen zu vermitteln und Vertrauen in die Prozesse zu schaffen.“

Prof. Dr. Alexander Roßnagel, Universität Kassel, auf der Veranstaltung „Metrologie als Fundament für die Digitalisierung“ am 10. April 2018.

Der rechtliche Rahmen geht bei vielen Anwendungen über das Mess- und Eichrecht hinaus. Das zeigt sich beispielsweise bei den intelligenten Stromzählern. In Deutschland ist der Roll-out von Smart Metern seit einigen Jahren im Energiewirtschaftsgesetz und seit 2016 im durch das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende geschaffene Messstellenbetriebsgesetz geregelt. Das zentrale Element ist dabei das sogenannte Smart Meter Gateway, über welches die sichere und vertrauenswürdige Kommunikation von Daten und Informationen mit den berechtigten Empfängern realisiert wird. Die zugrundeliegenden Schutzprofile und technischen Richtlinien für Smart Meter Gateways wurden im Einvernehmen mit der Bundesnetzagentur und der PTB erarbeitet und unterliegen einer stetigen Fortentwicklung. Das Ziel aller Beteiligten ist hierbei die IT-Sicherheit, das Vertrauen in die Richtigkeit der Messwerte sowie die Anwenderfreundlichkeit. In diesem Bereich treffen vielfältige Fragen des Verbraucherschutzes, der Informationssicherheit und des Datenschutzes auf den Innovationsdruck der Messgeräteindustrie und neue Software-basierte Geschäftsmodelle.

Die PTB – Vorreiter einer digitalen Qualitätsinfrastruktur

Die PTB hat die digitale Ertüchtigung der Qualitätsinfrastruktur im Rahmen eines Konzeptes „Metrologie für die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft“ aufgegriffen und die Arbeiten strategisch ausgerichtet. Mit dem Konzept folgt die PTB den Empfehlungen des Wissenschaftsrates aus dem Jahr 2017.

Neben der digitalen Qualitätsinfrastruktur werden auch weitere Themen adressiert. So wird auch die Metrologie großer Datenmengen (Big Data) mit dem Ziel der Entwicklung metrologischer Analysemethoden für große Datenmengen und der Evaluierung von Methoden des maschinellen Lernens für Big Data betrachtet. Ferner spielt die Metrologie der Kommunikationssysteme für die Digitalisierung eine Rolle, unter anderem für die Rückführung komplexer Hochfrequenzmessgrößen für 5G-Netze. Schließlich soll auch die Metrologie für Simulationen und virtuelle Messgeräte näher untersucht und in einem eigenen Kompetenzzentrum konzentriert werden.

Das Konzept der PTB sowie weitere Informationen finden sich auf der Webseite der PTB unter <https://digital.ptb.de>.

Kontakt: Dr. Sascha Eichstädt (Stabsgruppe „Koordination Digitalisierung“, Physikalisch-Technische Bundesanstalt)

Dr. Arne Höll, Katharina Gierschke (Referat Akkreditierung und Konformitätsbewertung, Messwesen, Fachaufsicht PTB und BAM)