



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut

Mit Metrologie
in die Zukunft

Herausforderung Energie



Herausforderung Energie

dezentral – effizient – regenerativ – dynamisch – sicher – stabil

Mit der Energiewende hat Deutschland sich das Ziel gesetzt, innerhalb weniger Jahrzehnte ein grundlegend neues, nachhaltiges, dezentrales Energiesystem zu schaffen, das nahezu ohne CO₂-Emissionen auskommt. Diese Transformation ist eine Mammutaufgabe. Als nationales Metrologieinstitut will die PTB alle Akteure – von der Industrie über die Politik bis zum Verbraucher – dabei unterstützen. Denn verlässliche Messungen sind die Voraussetzung für Sicherheit, Effizienz und Verbraucherschutz.

Bereits heute hat die PTB Mess- und Kalibriermöglichkeiten im Bereich Solar- und Windenergie entwickelt, die zum Teil weltweit einmalig sind. Doch zu einer erfolgreichen Energiewende gehören auch leistungsfähige Übertragungs- und Verteilnetze, Batterien und andere Speicherelemente, der Aufbau von Wasserstofftechnologien sowie Energieeffizienz. Gemeinsam mit Industriepartnern entwickeln PTB-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch hier geeignete Messverfahren und Standards. Besonderes Augenmerk liegt auf der Kopplung von Energiesektoren, der Stabilisierung des Stromnetzes und dem Energieträger Wasserstoff, der eine Schlüsselrolle im Energiesystem der Zukunft spielen wird.

Neben allen Herausforderungen bietet die Energiewende die Chance, zur Bühne für klimafreundliche Technologien „Made in Germany“ zu werden. Doch das kann nur mit exzellenter Messtechnik gelingen. Sie ist die Schlüsseldisziplin für den Umwelt- und Klimaschutz sowie für eine sichere, umweltverträgliche und wirtschaftliche Energieversorgung.

Metrologie für regenerative Energien

Wind- und Solarenergie sind die Grundpfeiler der Energiewende. Die Aufgabe der PTB ist es, die deutsche Industrie auf diesen Gebieten mit gemeinsamen Forschungsprojekten und Dienstleistungen zu unterstützen. Jedoch werden auch moderne konventionelle Gas- und Dampfkraftwerke zumindest in einer Übergangszeit eine wichtige Rolle bei der Energieversorgung Deutschlands spielen. Auch hier trägt Mess-Expertise aus der PTB – insbesondere in den Bereichen Druck-, Volumenstrom- und Temperaturmessung – dazu bei, die Effizienz dieser Kraftwerke zu steigern und damit den CO₂-Ausstoß zu verringern.

Kompetenz: Windenergie

Im Jahr 2050 soll nach Plänen der Bundesregierung 50 Prozent der benötigten elektrischen Energie aus Windenergieanlagen stammen. Die technischen Anforderungen an leistungsstarke, hohe Windenergieanlagen mit großen Rotordurchmessern sind enorm und der Bedarf an Kalibrierungen für den zuverlässigen Betrieb der Anlagen groß. Daher hat die PTB ein Kompetenzzentrum Windenergie mit weltweit einzigartiger messtechnischer Infrastruktur errichtet. Die PTB ist damit das erste nationale Metrologieinstitut, das der Windindustrie eine zuverlässige und umfassende Qualitätssicherung anbieten kann. Das Know-How umfasst unter anderem:

- ein Großkoordinatenmessgerät zur metrologischen Rückführung von Großbauteilen (5 m × 4 m × 2 m Messvolumen) wie Getriebekomponenten mit höchster Präzision

- die weltweit größte Normalmesseinrichtung für Drehmomente von bis zu 5 MNm, mit der Perspektive, diese Anlage langfristig auf bis zu 20 MNm zu erweitern
- modernste LIDAR-Sensortechniken (light detection and ranging) für Windpotenzialanalysen samt Windkanal zur Kalibrierung und präzisen Bestimmung von LIDAR-Systemen
- Entwicklung einer Prognosemethode zur Vorhersage von Störungen auf Einrichtungen der Flugsicherheit durch Windenergieanlagen. Diese ist seit Juni 2020 offizieller Standard und Teil der Genehmigungsverfahren.



Das Großkoordinatenmessgerät ermöglicht erstmals die metrologische Rückführung von Großbauteilen (5 m × 4 m × 2 m Messvolumen).

Darüber hinaus entwickelt die PTB gemeinsam mit europäischen Partnern erstmals einen Leitfaden, mit dessen Hilfe sich der Wirkungsgrad von Windenergieanlagen standardisiert prüfen lassen wird.

Kompetenz: Photovoltaik

Der Anteil der Photovoltaik (PV) an der gesamten deutschen Stromerzeugung könnte bis zum Jahr 2035 bei rund 20 Prozent liegen. Dazu müssen in Deutschland bis zu 100 Mrd. Euro investiert werden. Jedes Prozent Messunsicherheit in der Effizienz der Solarmodule führt dabei direkt zu einer finanziellen Unsicherheit von einer Milliarde Euro. Die PTB hat daher das Kompetenzzentrum für PV-Metrologie eingerichtet. Es bietet eine einmalige Infrastruktur aus Labor- und Freifeldkalibrierungsverfahren mit weltweit geringsten Messunsicherheiten. Die PTB ist das einzige nationale Metrologieinstitut in Europa, das eine primäre Rückführung der Messergebnisse für Referenzsolarzellen durchführen kann, und rund 50 Prozent aller weltweit installierten Anlagen sind bereits jetzt auf die Normale in der PTB rückgeführt.

Seit 2019 wird in der PTB die benötigte Messinfrastruktur aufgebaut, um auch für Solarmodule eine umfangreiche Kalibrierung anbieten zu können. Diese beinhaltet die notwendigen Parameter für eine umfassende energiebasierte Bewertung von Solarmodulen in Bezug auf alle ertragsrelevanten Einflussgrößen. Die PTB konzentriert sich dabei auf die schwierig zu bestimmenden Größen Leistung unter Standardtestbedingungen, Winkelabhängigkeit, Abhängigkeit vom Spektrum und Windgeschwindigkeitsabhängigkeit der Solarmodultemperatur. Ein LED-basierter Sonnensimulator ist das Herzstück der Modulmessplätze. Mit ihm lässt sich das Verhalten von Solarmodulen mit einer Größe von bis zu 2 m × 1 m unter verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen der Umwelt simulieren, um damit den Normjahresertrag von Solarmodulen (nach der Energy-Rating-Normenreihe IEC 61853) zu bestimmen.



Der LED-basierte Sonnensimulator ist mit 16 320 Hochleistungs-LEDs bestückt, die in 18 verschiedenen individuell ansteuerbaren Farben zur Verfügung stehen.

Metrologie für Energieträger und -speicherung

Ziel der Bundesregierung ist es, dass im Jahr 2050 der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch bei mindestens 80 Prozent liegt. Dies soll in erster Linie mit Wind- und Solarenergie gelingen. Um die wetterabhängig

fluktuierende Stromproduktion auszugleichen, werden in Zukunft große Energiespeichersysteme benötigt. Zum Gelingen der Energiewende braucht man zudem Energieträger, die es ermöglichen, regenerativ erzeugte Energie auch in den Sektoren Mobilität und Wärmeversorgung zu nutzen – Stichwort Sektorenkopplung.

In enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern, Universitäten, Forschungseinrichtungen und anderen nationalen Metrologieinstituten betreibt die PTB sowohl Grundlagenforschung an Eigenschaften neuer Batterietypen als auch anwendungsbezogene Forschung, die sich am aktuellen Bedarf von Industrie und Gesellschaft orientiert – beispielsweise im Bereich Elektromobilität und stationäre Speicher in Privathaushalten. Da vor allem das Gasnetz als potenzieller Speicher für gewaltige Energiemengen gilt – in erster Linie in Zusammenhang mit Wasserstoff –, baut die PTB auch in der Gasmesstechnik ihre Kompetenz gezielt weiter aus.

Kompetenz: Batterieforschung

Idealerweise gibt das Batteriemanagementsystem in Zukunft im Betrieb Auskunft über den Ladezustand, den Alterungszustand und die thermische Belastung. Dies wird nur dann sicher möglich sein, wenn die interdisziplinäre Aufgabe, das komplexe System „Batterie“ zu verstehen, durch Untersuchungen von elektrochemischen Parametern, Batteriealterung, Zustandsgrößen und Ladekennlinien gelöst ist. Hier ist die PTB mit einer Vielzahl von Messtechnikentwicklungen und Forschungsprojekten beteiligt, zum Beispiel:

- Im europäischen Forschungsprojekt „LiBforSecUse“ koordiniert die PTB ein Konsortium aus Industriepartnern, Forschungsinstituten und Metrologieinstituten mit dem Ziel, eine Messmethode zu entwickeln, die die Restkapazität von Li-Ionenbatterien aus Elektrofahrzeugen für Second-Use-Anwendungen effizient messen kann. Diese Batterien, die mit einer Restkapazität von etwa 80 % das Ende ihres Lebens in Elektrofahrzeugen erreicht haben, können jedoch noch viele Jahre beispielsweise als stationäre Energiespeichersysteme für Photovoltaikanlagen verwendet werden.
- Kooperationen mit der TU Braunschweig widmen sich der sicherheitstechnischen Bewertung von Lithium-Ionen-Zellen, -modulen und ganzen Batteriesystemen, um sicherheitstechnische Aussagen in Fehlerfällen wie Überlast, Überladung und Tiefenentladung treffen zu können.
- Die PTB beteiligt sich an Projekten zur Grundlagenforschung an Lithium-Schwefel-Batterien.

Aufgrund ihrer Forschungstätigkeit kann die PTB umfangreiche Dienstleistungen anbieten – von der SI-rückgeführten Beschreibung des Ladungs-, Alterungs- und Sicherheitszustands von Lithiumbatterien bis zur Metrologie für den Explosionsschutz.

Kompetenz: Wasserstofftechnologie

Grüner Wasserstoff (H₂) wird in Zukunft ein Hauptakteur der Energiewende sein. Mit Solar- oder Windstrom CO₂-frei produziert, steht er als Energieträger für zahlreiche Anwendungen in den drei Sektoren – Strom, Wärme und Mobilität – sowie für die stoffliche Nutzung in der Industrie zur Verfügung. Doch für seine umfassende Nutzung müssen noch viele Voraussetzungen geschaffen werden. Die PTB begleitet und fördert die technologische Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft metrologisch und sicherheitstechnisch und trägt zur Etablierung einer verlässlichen Qualitätsinfrastruktur bei. Dazu will sie auf ihrem Gelände in Braunschweig eine eigene Demonstratoranlage aufbauen. Schon jetzt ist die PTB gemeinsam mit anderen niedersächsischen Forschungspartnern am Aufbau eines Innovationslabors für Wasserstofftechnologie beteiligt. Dort sollen anwendungsnahe und umsetzbare Ideen für Forschungs- und Transferkonzepte entwickelt werden.

Die Messkompetenz für viele H₂-relevanten Größen sind in der PTB vorhanden oder können mittelfristig aufgebaut werden. Neben Dichte, Wirkungsgrad, Brennwert, Wärmemenge, Viskosität und chemischer Zusammensetzung zählen dazu:

Druck: Die PTB ist eines von weltweit nur drei Metrologieinstituten, das hohe Drücke im Bereich von 800 bar mit sehr kleinen Unsicherheiten messen kann. In naher Zukunft wird sie ihre Messmöglichkeiten für Gasdrücke bis 1000 bar, wie sie bei Erzeugung, Transport und Speicherung von Wasserstoff entstehen können, ausbauen.

Temperatur: Die PTB betreibt und entwickelt im Bereich der Temperaturmessung eine breite Palette von wasserstoffrelevanten Messverfahren, beispielsweise hinsichtlich des thermischen Managements von Wasserstoff-Kryodruckspeichern.

Explosionsschutz

Wasserstoff ist im Gemisch mit Luft ein extrem zündwilliges Gas. Bei einer breiten Anwendung muss zu jeder Zeit maximale Sicherheit garantiert werden – ob nah am Verbraucher (Tankstelle) oder bei industriellen Prozessen. In enger Kooperation mit der BAM sind hier die Ziele der PTB vor allem die Entwicklung von Prüfverfahren für explosionsgeschützte Geräte, deren Normung sowie ihre Umsetzung in den gesetzlich geregelten Konformitätsbewertungsverfahren.

Synthetische Kraftstoffe

Die PTB betreibt bereits die Analytik und Charakterisierung synthetischer wasserstoffbasierter Treibstoffe sowohl für die Luft- und Raumfahrt als auch für Nutzfahrzeuge. Die Optimierung maßgeschneiderter synthetischer Treibstoffe für eine möglichst schadstoffarme Verbrennung ist nur dann erfolgreich, wenn beispielsweise Zündverhalten und Reaktionskinetik bekannt sind.

Kompetenz: Gasmesstechnik

Das Erdgasnetz soll in Zukunft als großer Speicher für Energie aus erneuerbaren Quellen dienen. Biogas kann hier ebenso eingespeist werden wie mit überschüssigem Strom hergestellter Wasserstoff oder daraus produziertes Methan. Bei Bedarf wird es dann rückverstromt. Doch Gase unterscheiden sich, beispielweise hinsichtlich ihres Brennwertes. Im Sinne einer gerechten Abrechnung für den Verbraucher müssen also chemische und physikalische Eigenschaften des transportierten Gases an jeder Stelle im Netz und das daraus resultierende Verhalten der Gasmessgeräte bestimmt werden können. Die PTB hat die Kompetenz, solche Mess- und Bewertungsverfahren zu validieren und zu überprüfen, ob sie mit den Anforderungen des Mess- und Eichgesetzes übereinstimmen. Dasselbe gilt für Gaszähler an Wasserstoffzapfsäulen. In der Industrie wird Wasserstoff zunehmend auch als Prozessgas eingesetzt. Wird er mit Solar- und Windstrom erzeugt, kann grüner Wasserstoff beispielsweise in der Stahlproduktion in großem Maße zur Vermeidung von CO₂-Emissionen beitragen. Die PTB und die Salzgitter Flachstahl GmbH haben daher eine Kooperation vereinbart, um geeignete Wasserstoff-Mengenmesstechnik für die Industrie zu entwickeln. Die genaue Messung von Wasserstoff ist Voraussetzung für eine effiziente Steuerung von Produktionsprozessen.

Metrologie für den Netzausbau

Stromübertragungs- und -verteilungssysteme unterliegen zukünftig ganz neuen Anforderungen: statt weniger zentraler Erzeuger gibt es viele dezentrale, die Stromerträge aus Wind und Sonne schwanken zeitlich, an der Küste produzierter Windstrom muss in Ballungsräume in West- und Süddeutschland transportiert werden, und die Elektromobilität braucht eine flächendeckende Ladeinfrastruktur. Neben der Schaffung weiterer Übertragungskapazitäten durch Leitungszubau ist hier intelligente Informations- und Kommunikationstechnik notwendig, um alle Energieerzeuger und -verbraucher sinnvoll zu vernetzen und den Bedarf jeweils aufeinander abzustimmen. Die PTB widmet sich der Metrologie des Netzausbaus und der Kommunikationstechnik sowohl in eigenen Projekten als auch gemeinsam mit 18 internationalen Forschungspartnern im Europäischen Metrologienetzwerk (EMN) „Smart Electricity Grids“. Dieses Gemeinschaftsprojekt unter dem Dach von EURAMET bietet Unterstützung bei der Normung, Erprobung sowie Forschung und Entwicklung nationaler Strategien zur Entwicklung und Umsetzung intelligenter Stromnetze.

Smart-Meter-Gateways

Smart-Meter-Gateways (SMGWs) bilden zusammen mit modernen Stromzählern ein intelligentes Messsystem, das in der Energiewirtschaft zukünftig eine Schlüsselrolle einnehmen wird. Seit 2019 erhalten Smart-Meter-Gateways eine Baumusterprüfbescheinigung von der PTB. Unter Einhaltung höchster Datensicherheits- und Datenschutzerfordernungen

ermöglichen die Gateways neben einer Vor-Ort-Verarbeitung der Energiemesswerte insbesondere auch das Weiterleiten der aufbereiteten Messwerte an Verbraucher, Netzbetreiber, Energielieferanten und Energiedienstleister über öffentliche Kommunikationsnetze. Die Rolle der PTB dabei ist, im Interesse des Kundenschutzes und des lautereren Wettbewerbs die Anforderungen des gesetzlichen Messwesens einzubringen. Das geschieht durch Beratung der betroffenen Behörden und der Industrie, durch die Mitarbeit bei zugehörigen Normungs- und Standardisierungsaktivitäten und schließlich durch die Prüfung, Bewertung und Zertifizierung der modernen Zähler und Smart-Meter-Gateways.

Weiterentwicklung relevanter Messtechnik

Insgesamt müssen in den nächsten Jahren rund 7500 Kilometer des Stromnetzes optimiert, verstärkt oder neu gebaut werden. Die Dezentralisierung der Energieversorgung und die neuartigen Energieerzeugungsmethoden führen zu neuen Netzstrukturen und Herausforderungen – beispielsweise hinsichtlich einer abnehmenden Spannungsqualität –, die auch neue Messverfahren erfordern. Neu ist auch, dass Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen in Zukunft eine wichtige Rolle spielen werden.

Die PTB will im Bereich der Hochspannungsmesstechnik zuverlässige und rückführbare Messungen ermöglichen – sowohl bei der Drehstrom- als auch bei der Gleichstrom-Übertragung. Dafür baut sie bereits die entsprechende Labortechnik auf, um Stromerzeugungs- und Messeinrichtungen weiterzuentwickeln und die Messunsicherheit für die Darstellung der relevanten Größen zu verbessern.



Die Hochspannungsmessanlage der PTB

Ein Beispiel dafür ist die 2020 aufgebaute Hochspannungsmessanlage. Mit ihr lassen sich Gleichspannungen bis zu 2000 kV erzeugen und präzise messen. Langfristig will die PTB Kalibrierdienstleistungen für Gleichspannungen über 1000 kV anbieten, welche beispielsweise für die Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) wichtig sind. Ziel der hier stattfindenden Forschung ist unter anderem, zu ermitteln, welchen Einfluss die Höhe und Qualität der Gleich-

spannung auf Messgeräte hat. Denn überlagerte Spannungen haben einen erheblichen Einfluss auf die Lebensdauer von Komponenten im Übertragungsnetz. Letztendlich stützen derartige Messungen die Versorgungssicherheit des europäischen Stromnetzes.

Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge

Die PTB stellt seit 2018 Baumusterprüfbescheinigungen für Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge aus und bestätigt damit: Sie stimmen mit allen mess- und eichrechtlichen Anforderungen überein und gewährleisten sowohl exakte Messungen als auch einen für den Kunden transparenten und genau nachvollziehbaren Ladevorgang – vergleichbar mit dem Tanken von Benzin. Die PTB hat als momentan einzige Konformitätsbewertungsstelle für den Anwendungsbereich Elektromobilität ein Bewertungsverfahren für Ladeeinrichtungen entwickelt und unterstützt mit ihrer Arbeit aktiv den nationalen Entwicklungsplan der Bundesregierung für Elektromobilität.



Dieser Stecker ist Teil eines von der PTB entwickelten In-Kabel-Messsystems. Hiermit kann die während des Ladevorgangs gelieferte Energiemenge ermittelt und mit der in der Ladesäule gemessenen Menge verglichen werden. Neben der richtigen Energiemessung sind auch weitere Aspekte wie etwa die vertrauenswürdige Speicherung und Übermittlung dieser Messwerte notwendig, damit eine Ladesäule für E-Fahrzeuge von der PTB als „mess- und eichrechtskonform“ zertifiziert werden kann.

Koordinator des Lenkungskreises

Dr. Fabian Plag
Präsidentialer Stab
Telefon: (0531) 592-2006
E-Mail: fabian.plag@ptb.de

Mitglieder / fachliche Ansprechpartner (Teilnehmer an LK-Sitzungen)

Dr.-Ing. Frank Härtig (Lenkungskreis-Vorsitz)
Vizepräsident der PTB
Telefon: (0531) 592-2000
E-Mail: frank.haertig@ptb.de

Dr. Helmut Többen
Leiter des Fachbereichs 1.4 | Gase
Telefon: (0531) 592-1400
E-Mail: helmut.toebben@ptb.de

Dr. Thomas Kleine-Ostmann
Leiter des Fachbereichs 2.3 | Elektrische Energiemesstechnik
Telefon: (0531) 592-2300
E-Mail: thomas.kleine-ostmann@ptb.de

Dr. Bernd Güttler
Leiter der Abteilung 3 | Chemische Physik und Explosionsschutz
Telefon: (0531) 592-3010
E-Mail: bernd.guettler@ptb.de

Hon.-Prof. Dr. Stefan Kück
Leiter der Abteilung 4 | Optik
Telefon: (0531) 592-4010
E-Mail: stefan.kueck@ptb.de

Dr. Steffen Rudtsch
Leiter des Fachbereichs 7.4 | Temperatur
Telefon: (030) 3481-7650
E-Mail: steffen.rudtsch@ptb.de

Die Inhalte dieses Infoblattes und weitere Informationen finden Sie im Internet unter www.ptb.de > Forschung & Entwicklung > Mit Metrologie in die Zukunft > Herausforderung Energie



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Telefon: (0531) 592-3006
E-Mail: presse@ptb.de
www.ptb.de

Stand: 10/2021



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

Foto Titelseite:
©Trevor Adeline/Caia Image. Adobestock