Wenn Kräfte Grenzen und Normen sprengen

Artikel vom **1. Juni 2026**
Sensoren

Windkraftanlagen, Brücken und Hochhäuser wachsen in immer neue Dimensionen – und mit ihnen die Kräfte, die in Prüfständen gemessen werden müssen. Doch die Metrologie stößt an ihre Grenzen: Weltweit gibt es nur wenige Einrichtungen, die Kraftaufnehmer im Bereich von zehn bis 30 Mega-Newton rückführbar kalibrieren können. Das Unternehmen GTM setzt deshalb auf einen pragmatischen Ansatz mit extrapolierten Kalibrierwerten, um auch Messungen jenseits der heutigen Normbereiche zuverlässig möglich zu machen.



Kraftaufnehmer der Serie RF von GTM sind robust gebaut und besitzen ein breites Messspektrum. In Hochlastprüfständen helfen sie dabei, Windkraftanlagen effizienter und verlässlicher zu machen. Bild: GTM

Steigende Prüfkräfte bringen die Kraftmesstechnik an ihre Grenzen: In immer höheren Lastbereichen wird die Kalibrierung von Kraftaufnehmern zum Problem. Droht eine Messlücke? Warum eine Extrapolation zum Ausweg werden kann, erläutert Experte Daniel Schwind, Leiter Metrologie bei der GTM Testing and Metrology GmbH in Bickenbach. Neue Technologien bringen neue konstruktive Lösungen hervor. Das lässt sich beispielsweise bei Windkraftanlagen gut beobachten: Die Baugröße steigt, in gleicher Weise wachsen Nabenhöhe und Rotordurchmesser. Damit wird ihre Leistungsfähigkeit immer größer.



GTM-Kraftaufnehmer der Serie RF in einem Hochlastprüfstand für Gondeln und Rotornaben von Windkraftanlagen: Zum Einsatz kommen kundenspezifische Sensoren mit einem Nennkraftbereich von 10 MN. Bild: GTM

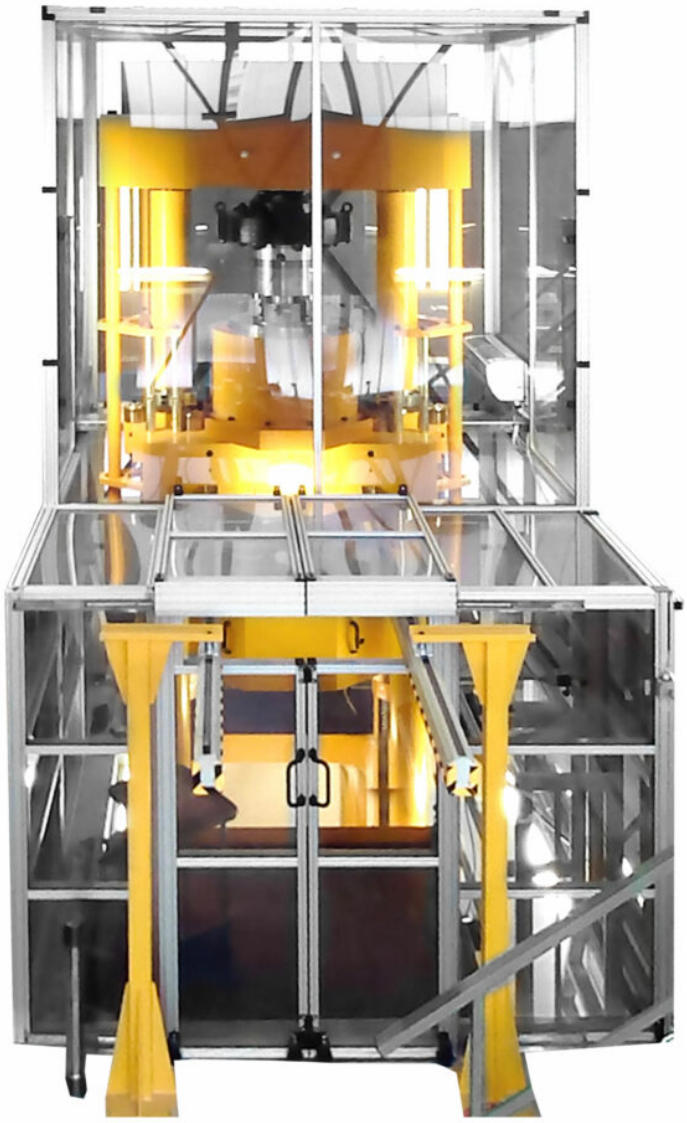
Aktuelle Windkraftanlagen an Land haben eine durchschnittliche Nabenhöhe von 136 Metern. Bei einem Rotordurchmesser von 141 Metern ragt die gesamte Anlage im Schnitt 206 Meter über Grund auf. Zum Vergleich: 2010 lag die durchschnittliche Nabenhöhe noch bei knapp 100 Metern, der Rotordurchmesser bei 80 Metern. Für Offshore-Windparks sind für 2025 bereits Rotordurchmesser zwischen 174 und 236 Metern geplant, bei Nabenhöhen zwischen 107 und 145 Metern. **Immer höhere Kräfte und Momente** Mit zunehmenden Rotordurchmessern steigen auch die auf Gondel, Turm und verbundene Komponenten wirkenden Kräfte erheblich. Dies wirkt sich zunehmend auf die Kraftmesstechnik aus, die in der Materialprüfung eingesetzt wird.



Daniel Schwind, Leiter Metrologie, GTM Testing and Metrology GmbH, Bickenbach. Bild: GTM

Weitere treibende Kräfte sind das Wachstum der Weltbevölkerung und die zunehmende Urbanisierung. Mit steigenden Einwohnerzahlen in Städten wachsen auch die Dimensionen von Bauwerken: Gebäude erreichen immer größere Höhen, Brücken immer größere Spannweiten. Während Archetypen des Wolkenkratzers wie das Chrysler Building oder das Empire State Building lange als Maßstab galten, setzt heute das Burj Khalifa mit 828 Metern neue Dimensionen. Ähnliche Entwicklungen zeigen sich im Brückenbau. Der Trend ist klar: Künftige Bauaufgaben erfordern höhere Tragfähigkeiten von Baustoffen und Bauteilen. Mehr und mehr geht es im Bereich der Werkstoff- und Bauteilprüfung um Kräfte und Momente, die weit über das hinausgehen, was vor zehn oder zwanzig Jahren noch als Maximum galten. Bauteil- und Werkstoffprüfungen sind unverzichtbar. Prüfungen sind in der Regel von akkreditierten Prüfstellen durchzuführen. Die eingesetzten Prüfstände müssen zudem metrologisch rückverfolgbar sein.Hier beginnt das Problem: Die Möglichkeiten zur Rückführung im Bereich großer Kräfte sind weltweit stark limitiert – je größer die Kräfte, desto mehr Einschränkungen gibt es. Während der Bereich bis etwa fünf Mega-Newton (MN) noch von vielen Nationalen Metrologischen Instituten (NMI) abgedeckt wird, sind im Bereich von zehn bis 30 MN nur wenige Staatsinstitute in der Lage, die erforderlichen Rückführungen anzubieten. Die Institute befinden sich in Deutschland, Großbritannien, Japan, Korea, China und USA. Zusätzlich einschränkend ist zu beachten, dass diese Rückführungen in der Regel mit einer größeren Messunsicherheit einhergehen. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig verfügt mit der 16,5 MN-K-NME über die weltweit größte Normalmesseinrichtung für Zugkräfte und die drittgrößte

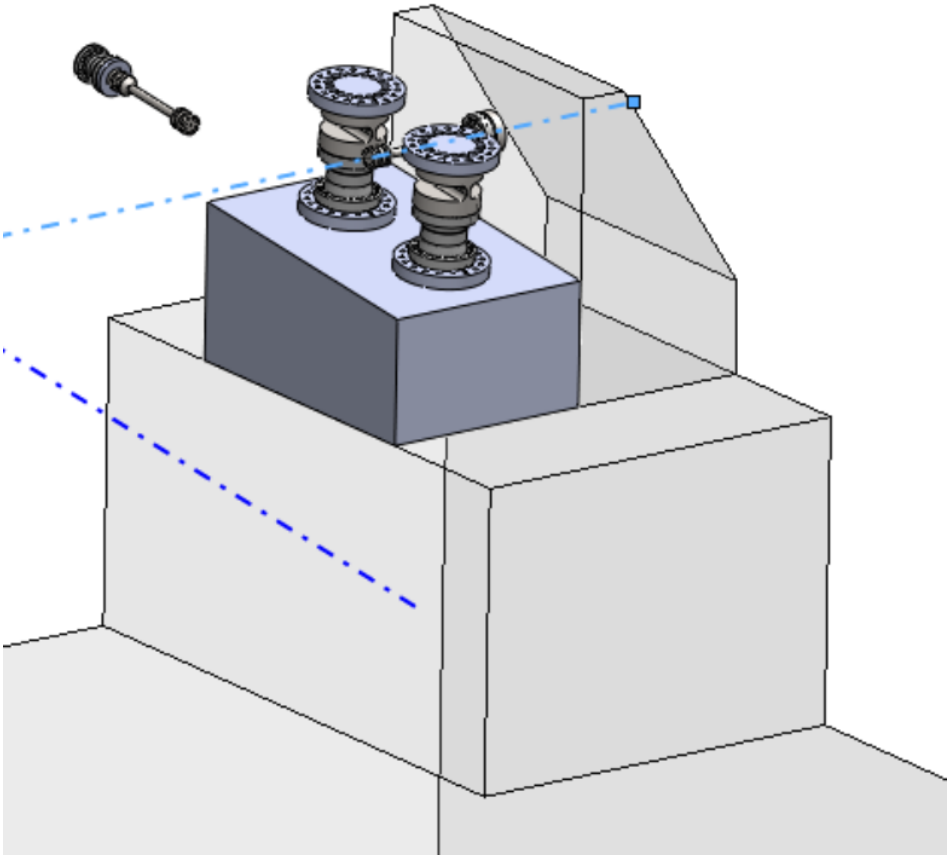
für Druckkräfte mit einer Messunsicherheit von lediglich 0,01 Prozent. Es ist offensichtlich, dass mit den vorhandenen Kapazitäten der steigende Bedarf der Industrie nicht abgedeckt werden kann.



Die laut GTM-Aussagen weltweit größte Zug- und Druckkraftmesseinrichtung in einem privatwirtschaftlichen Unternehmen steht im GTM-Laboratorium. Kunden erhalten akkreditierte Rückführungen für Kraftaufnehmer bis zur Kalibrierkraft von 10 MN und Werkskalibrierscheine mit extrapolierten Werten für höhere Nennlasten. Bild: GTM

Das GTM Laboratorium in Bickenbach bei Darmstadt verfügt über die weltweit größte Zug- und Druckkraftmesseinrichtung in einem privatwirtschaftlichen Unternehmen. Das Labor bietet akkreditierte Rückführungen nach DIN EN ISO/IEC 17025 für Kraftaufnehmer bis zur Kalibrierkraft von zehn MN an. Kalibriert werden Kraftaufnehmer nach den Verfahren DIN EN ISO 376, ASTM E 74, DKD-R 3-3 oder dem vom Labor entwickelten GTM-RL-003. **Extrapolation als Lösung?** Was aber ist zu tun, wenn Kraftaufnehmer, die kalibriert werden müssen, über größere Nennlasten verfügen und in

einem höheren Kraftbereich eingesetzt werden sollen? Dass so ein Fall in Zukunft eintreten wird, machen die Beispiele sehr wahrscheinlich. Kann der Anwender die Kalibrierergebnisse nach den oben angeführten Verfahren extrapolieren, also ableiten und »hochrechnen«? Ist so eine Extrapolation von Kalibrierergebnissen überhaupt zulässig? Die Antwort von Metrologen zu dieser Frage lautet: Nein – und das hat seinen Grund.



Schematische Zeichnung eines Hochlastprüfstands für Turbinen und Generatoren: Kundenspezifische GTM-Kraftaufnehmer der Serie RF sind integriert. Bild: GTM

Bei der Bestimmung der Messunsicherheit beispielsweise bei der DIN EN ISO 376 werden sogenannte Interpolationsabweichungen berücksichtigt. Diese Unsicherheitsbeiträge sind ein Maß dafür, wie gut sich das reale Verhalten eines Kraftaufnehmers durch eine mathematische Gleichung, die Ausgleichsfunktion, beschreiben lässt. Die Ermittlung der Parameter für die Ausgleichsfunktion der Interpolation basieren auf den tatsächlich bei der Kalibrierung aufgebrachten Kräften und den ermittelten Messwerten. Die Ausgleichsfunktion ist damit nur in diesem Bereich gültig (inter = dazwischen) und kann aufgrund fehlender Stützstellen außerhalb des kalibrierten Bereichs zu sehr großen Abweichungen führen. Ein Ausweg wäre es natürlich, eine Kalibrierung unter Nutzung der weltweit limitierten Möglichkeiten auszuführen. Dies ist aber in der Regel aus Kosten- und Zeitgründen nicht möglich. GTM bietet einen Ausweg: Die Kalibrierung wird bis zu den maximal möglichen Kräften bis zehn MN rückführbar ausgeführt, das heißt, mit einem Kalibrierschein, der vom GTM-Laboratorium im Geltungsbereich der DAkkS-Akkreditierung ausgestellt worden ist. Zusätzlich wird dann ein Werkskalibrierschein erstellt, der neben den Messwerten auch klar gekennzeichnete extrapolierte Werte enthält, dazu berechnete Messunsicherheitsanteile und eine gültige Ausgleichsfunktion. **Pragmatische**

Alternative Die Rahmenbedingungen für diesen zweiten Lösungsansatz sind klar umrissen. Zum einen ist es wichtig zu verstehen, dass eine Extrapolation von Messwerten unbedingt exakte Kenntnisse über das typische Verhalten der zu kalibrierenden Aufnehmer voraussetzt. Weil das Verhalten von der Bauform der Kraftaufnehmer abhängig ist, können solche Extrapolationen nur für die Kraftaufnehmer aus dem Hause GTM erfolgen. Zum anderen bleibt eine wesentliche Einschränkung zur Anwendung der Werkskalibierscheine bestehen: Gemäß dem europäischen Akkreditierungsabkommen können Werkskalibrierscheine nicht als Rückführnachweis anerkannt werden. Rückführnachweise müssen zwingend ein nationales Akkreditierungssymbol oder ein ILAC-Symbol (International Laboratory Accreditation Cooperation) tragen, damit sie Gültigkeit haben. Daraus lässt sich die Verpflichtung ableiten, den Werkskalibrierschein zusätzlich zu validieren und zu verifizieren. Validierung bedeutet in diesem Fall eine Erklärung, dass die Extrapolation für die beabsichtigte Anwendung geeignet ist und ein probates Mittel darstellt. Hier muss beispielsweise beleuchtet werden, ob die extrapolierten Werte ausreichend nahe an den rückgeführt gemessenen Werten liegen, um die Messunsicherheitsanteile dafür sicher abschätzen zu können. Als Basis dazu können Leistungsmerkmale aus vorhergehenden Kalibrierungen baugleicher Aufnehmer dienen. Damit einhergehend muss festgestellt werden, ob das Extrapolationsverfahren unter den Bedingungen und mit den Messunsicherheiten durchgeführt werden kann, die der Anwender benötigt, da mit weiter entfernt liegenden extrapolierten Werten auch deren Messunsicherheit steigt. Das Verfahren der Extrapolation wird deshalb für jeden einzelnen Werkskalibrierschein des GTM-Laboratoriums, der extrapolierte Werte enthält, von GTM validiert. Um die erforderliche Verifizierung zu erfüllen, soll durch den Anwender oder den Inverkehrbringer dokumentiert werden, dass durch das Extrapolationsverfahren die geforderte Leistungsfähigkeit der Anwendung erreicht werden kann und dabei beispielsweise spezifizierte Grenzwerte eingehalten werden. Unter diesen Voraussetzungen ist der beschriebene Weg mit der Extrapolation von Kalibrierergebnissen möglich. So eröffnet sich die Möglichkeit, Kraft- und Drehmomentaufnehmer auch dann zuverlässig zu kalibrieren, wenn die zu erwartenden Kräfte außerhalb des Normbereichs liegen.

Hersteller aus dieser Kategorie

© 2025 Kuhn Fachverlag