



Ein Kavitationstest gemäß IEC 60193 wird an einem verkleinerten Pumpenturbinenmodell auf dem PF2-Prüfstand der PTMH durchgeführt (Bild: PTMH).

# WASSERKRAFT OPTIMIEREN ZUR UNTERSTÜTZUNG DER ENERGIEWENDE

Die PTMH an der EPFL nutzt Drucksensoren von Kistler für Modellversuche an Wasserturbinen



Kavitation wird während der Modellabnahmeprüfungen an einem maßstabsverkleinerten physikalischen Modell einer Pumpturbine sichtbar gemacht, das auf einem Prüfstand installiert ist (Bild: PTMH).

**Die Technologieplattform für hydraulische Maschinen (PTMH) an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) führt Modellversuche an neuen Wasserturbinen gemäß IEC 60193 durch. Turbinen verschiedener Typen – darunter Kaplan-, Francis-, Propeller-, Rohr- und Pumpturbinenmodelle – werden mit IEPE-Drucksensoren von Kistler getestet. Sie erfassen Druckpulsationen mit hoher Präzision und spielen somit eine entscheidende Rolle bei der Optimierung der Turbinenkonstruktion.**

Während sich die Diskussionen über die Energiewende oft auf Wind- und Solarenergie konzentrieren, spielt auch die Wasserkraft auf globaler Ebene eine bedeutende Rolle. Im Jahr 2024 stand Wasserkraft mit rund 4.400 Terawattstunden (TWh) und einem Anteil von 14 Prozent an der weltweiten Stromerzeugung an dritter Stelle hinter Kohle und Erdgas. Schätzungen zufolge könnte das weltweite Potenzial der Wasserkraft sogar 16.000 TWh pro Jahr übersteigen – selbst unter Berücksichtigung ökologischer Faktoren wie Auswirkungen von Staudämmen auf Landschaften und Ökosysteme. Wasserkraft bietet außerdem Flexibilität und enorme Energiespeicherkapazitäten, die für die Balance eines Stromnetzes mit einem steigenden Anteil an erneuerbaren Energien von entscheidender Bedeutung sind.

In einem Wasserkraftwerk wird Strom durch Turbinen erzeugt, die die potenzielle Energie des fallenden und die kinetische Energie des fließenden Wassers in elektrische Energie umwandeln. Es gibt verschiedene Arten von Wasserturbinenkonstruktionen, die jeweils ihre eigenen spezifischen Stärken haben: Zu den gängigsten Typen gehören Pumpturbinen sowie Francis- und Kaplan-Turbinen, die nach ihren jeweiligen Erfindern benannt sind. Angesichts der hohen Investitionskosten und aufgrund der individuellen Bedingungen in

jedem Wasserkraftwerk müssen geplante Turbinen vor der Installation intensiven Modellabnahmeprüfungen unterzogen werden. Turbinenprüfstände verwenden genau skalierte Modelle von hydraulischen Wasserkanälen, um Parameter wie Druckpulsationen, Kavitation, Wirkungsgrad und Ausgangsleistung zu erfassen.

#### **IEPE-Drucksensoren messen Druckpulsationen hochgenau**

Als Forschungseinrichtung, die sich auf die Prüfung von Wasserturbinen spezialisiert hat, bedient die PTMH Industriekunden weltweit. Das Labor gehört zur École Polytechnique Fédérale de Lausanne und liegt am Ufer des Genfer Sees. Neben ihren akademischen Forschungs- und Lehrtätigkeiten betreibt die PTMH drei verschiedene Turbinenprüfstände für Wasserturbinen, Speicherpumpen und Pumpturbinentests gemäß IEC 60193. Diese streng kontrollierten Modellabnahmeprüfungen dienen der Validierung der hydraulischen Leistung der Turbinen, um sicherzustellen, dass sie die vertraglich vereinbarten Leistungswerte erfüllen – zumal Wasserkraftturbinen eine Lebensdauer von 60 Jahren oder mehr haben.

Druckpulsationen treten in Francis-, Kaplan-, Propeller-, Rohr- und Pumpturbinen auf, wo sie durch die Strömung und Konstruktionshöhlräume verursacht werden. Diese Pulsationen werden von vielen Parametern beeinflusst und können, wenn sie intensiv sind, die Leistung verringern oder sogar die Turbine beschädigen. Treten solche Druckpulsationen auf dem Turbinenprüfstand auf, müssen konstruktive Gegenmaßnahmen ergriffen werden, um die Stabilität der Turbine während des Betriebs zu gewährleisten. Die PTMH verwendet IEPE-Drucksensoren (Integrated Electronics Piezo-Electric) von Kistler für alle Arten von Modellversuchen im kleinen Maßstab in Forschung und Entwicklung.





Für die Datenanalyse von Druckpulsationsmessungen setzt die PTMH auf den hochwertigen Labor-Ladungsverstärker LabAmp 5165A von Kistler, der mit LabVIEW kompatibel ist (Bild: Kistler).

Von besonderem Interesse sind dabei folgende Messparameter:

- Relative Amplitude der Druckpulsationen innerhalb des angegebenen Betriebsbereichs
- Art der Druckpulsationen (periodisch vs. stochastisch)
- Dominante Frequenz der Druckpulsationen
- Positionierung und Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen, z. B. Luftinjektion
- Intensität der Pulsationen im Testmodell im Vergleich zu anderen Modellen mit ähnlichen Drehzahlen

#### **Turbinenprüfstände der PTMH mit Messtechnik von Kistler ausgerüstet**

Im Rahmen einer umfassenden Modernisierung des Leitstands an der PTMH wurden die Wasserturbinen-Prüfstände mit modernen Druckmesssystemen von Kistler ausgestattet. Die Messkette basiert auf den bewährten IEPE-Drucksensoren der Serie 601C von Kistler. Diese piezoelektrischen Miniatur-Druckaufnehmer verfügen über PiezoStar-Kristalle und integrierte Impedanzwandlertechnologie (IEPE), die Ladungen in Spannungssignale umwandelt. Die Drucksensoren verbinden eine sehr kompakte Bauweise mit hervorragender Empfindlichkeit, und ihre hohen Eigenfrequenzen und kurzen Ansprechzeiten sind ebenfalls wichtige Vorteile für Druckpulsationsmessungen. Und nicht zuletzt: Die Drucksensoren der Serie 601C von Kistler sind mit einer optimierten Sensormembran ausgestattet, die für dynamische Druckmessungen und Unempfindlichkeit gegenüber Thermoschocks ausgelegt ist.

**„Wir haben uns für Messtechnik von Kistler entschieden, weil ihre IEPE-Drucksensoren Druckpulsationen präzise messen – und darüber hinaus die DAQ-Geräte problemlos mit LabVIEW verwendet werden können.“**

Wasserdichte Kabel, die den anspruchsvollen hydrodynamischen Bedingungen in der Umgebung von Wasserturbinen standhalten, sind ebenfalls unverzichtbare Elemente der Messkette für die PTMH: Die hochisolierten Verbindungskabel 1983AD von Kistler sind mit wasserdichten Steckverbindern ausgestattet, um die Schutzart IP68 zu gewährleisten. Bei der Datenerfassung entschied sich die PTMH für LabAmp – den digitalen Labor-Ladungsverstärker von Kistler, der eine beeindruckende Auswahl an DAQ-Funktionen und -Optionen bietet und mit

LabVIEW kompatibel ist, der Programmierumgebung, die an der PTMH zur Entwicklung einer eigenen Datenanalyse-Software verwendet wird.

#### **Wasserkraft: wertvolle Partnerschaft für Forschung und Entwicklung**

Die PTMH hebt besonders die Genauigkeit bei der Druckpulsationsanalyse hervor: „Wir haben uns für Messtechnik von Kistler entschieden, weil ihre IEPE-Drucksensoren Druckpulsationen präzise messen – und darüber hinaus die DAQ-Geräte problemlos mit LabVIEW verwendet werden können. Wir schätzen auch den schnellen Rekalibrierungsservice sowie die umfassende Beratung und Unterstützung, die Kistler während dieser mehrjährigen Projektphase geleistet hat.“

Unterstützt durch diese Spitzentechnologien gewährleistet die PTMH maximale Messgenauigkeit und ist ein wichtiger Motor für Fortschritte in der Wasserkraftforschung und industriellen Anwendungen. Die hervorragend ausgestatteten Prüfstände stärken die Position der PTMH als weltweit führendes Forschungszentrum und bieten gleichzeitig erstklassige Testdienstleistungen für die Wasserkraftindustrie. Die oben beschriebenen Investitionen in Wasserturbinen-Prüfstände garantieren präzise Messungen und hohe Zuverlässigkeit, sodass das Institut seine Forschung, Ausbildung und Testdienstleistungen an der Spitze der Branche weiter vorantreiben kann.

#### **Robuste, hochpräzise Messungen dank PiezoStar-Kristallen**



Die 601C IEPE-Drucksensoren von Kistler werden an der PTMH in der IP68-Ausführung in Kombination mit wasserdichten Kabeln eingesetzt (Bild: Kistler).

Die Kistler Gruppe ist nicht nur Expertin für piezoelektrische Messtechnik, sondern züchtet auch eigene PiezoStar-Kristalle, die im Vergleich zu Standard-Quarzkristallen überlegene Eigenschaften bieten. Zu den wichtigsten Vorteilen zählen:

- Höhere Empfindlichkeit
- Überlegene Temperaturstabilität
- Hohe Temperaturbeständigkeit bis zu 700 °C (kurzzeitig bis zu 1.000 °C)

Je nach Anwendungsbereich entwickelt Kistler maßgeschneiderte PiezoStar-Kristalle mit spezifischen Eigenschaften für bestimmte Sensoren.

---

**Wollen Sie mehr über unsere  
Anwendungen erfahren?  
Jetzt entdecken:**



[www.kistler.com](http://www.kistler.com)

**Kistler Group**  
Eulachstrasse 22  
8408 Winterthur  
Schweiz  
Tel. +41 52 224 11 11

Die Produkte der Kistler Gruppe sind durch verschiedene gewerbliche Schutzrechte geschützt. Mehr dazu unter [www.kistler.com](http://www.kistler.com)

Die Kistler Gruppe umfasst die Kistler Holding AG und alle ihre Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Finden Sie Ihren Kontakt auf  
[www.kistler.com](http://www.kistler.com)

**KISTLER**  
measure. analyze. innovate.