MIT KI SEDIMENTE PRÄZISE DETEKTIEREN – BEVOR DIE TURBINE SCHADEN NIMMT

Sedimente, wie hier in einem Oberwasserkanal eines Kraftwerks in Asien, stellen eine unmittelbare Gefahr für die Turbine dar.

Sedimente im Triebwasser gelten als eine der größten unsichtbaren Gefahren für die Turbinen von Hochdruckanlagen. Um ihr Schädigungspotenzial zu minimieren, kamen bislang vorrangig Trübungssonden im Oberwasser zum Einsatz, die jedoch markante Schwächen aufweisen. Der oberösterreichische Wasserkraftspezialist Global Hydro machte sich auf die Suche nach Alternativen und wurde in der Kombination aus Körperschallsensorik und künstlicher Intelligenz fündig: Die neue Technologie, die man unter dem Namen Hydrox SediSense zur Marktreife geführt hat, ermöglicht erstmals eine präzise Detektion von schädlichen Partikeln dort, wo sie tatsächlich wirken – direkt an den kritischen Turbinenbauteilen. Die Innovation markiert eine Weltpremiere in der Wasserkraft und revolutioniert nicht nur die Art, wie Betreiber ihre Anlagen vor Abrasion schützen können, sondern eröffnet zudem neue Möglichkeiten für eine Maximierung der wirtschaftlichen Betriebsführung.

Der Klimawandel wirkt sich auf die Fließgewässer und damit auch auf die Wasserkraftnutzung aus. Starkregen und Sturzfluten nehmen ebenso zu wie ausgeprägte Trockenphasen, Gletscher schmelzen ab. Das führt dazu, dass die Sedimentbelastung im Triebwasser ansteigt, besonders in den Gebirgsregionen Europas und Asiens. Welche Auswirkungen die zum Teil mikroskopisch kleinen Partikel im Triebwasser auf die betroffenen Turbinenkomponenten haben, ist vielen Betreibern wohlbekannt: Verschleiß an den Laufrädern und anderen Turbinenbauteilen. Die Folgen: sinkende Wirkungsgrade, steigende Wartungskosten und im schlimmsten Fall ungeplante Stillstände.

„Wir sehen gerade bei Kraftwerken, die Gletscher in ihrem Einzugsgebiet haben, oder deren Triebwasser stark von sedimentbelasteten Flüssen kommt, große Herausforderungen. Aus diesem Grund haben wir uns vor einigen Jahren die Frage gestellt: Wie können wir dieser Gefahr mit unseren digitalen Lösungen entgegenwirken?“, erläutert Thomas Stütz, Leiter Electrical Engineering und Software Entwicklung bei Global Hydro Energy, die Ausgangssituation. Er verweist darauf, dass man bereits seit längerem gewusst habe: Die Sedimentbelastung erfolgt nicht kontinuierlich, sondern vielmehr sporadisch. Es gelte daher, diese Peaks zu glätten, denn genau diese Phasen der extremen Spitzenbelastungen zögen die massivsten Schädigungen der Laufräder nach sich. „Aber diese Spitzen rechtzeitig zu erkennen, das war bis dato äußerst schwierig“, so der Fachmann.

Spuren von Sedimenterosion an der Leitschaufel einer Francisturbine.

Trübungsmessungen liefern suboptimale Daten

Bislang setzten Betreiber vor allem auf Trübungsmessungen, um Sedimente im Oberwasser zu detektieren. Belastbare Daten waren auf diese Weise aber sehr oft nur bedingt zu generieren. Die Gründe dafür liegen vor allem darin, dass die Sonden selbst auch den widrigen Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. Ob das nun Algen, Luftblasen oder organische Schwebstoffe sind: All diese Einflussfaktoren können zu einem „falsch-positiven“ Messergebnis führen. Konkret heißt das: Es wird Trübung konstatiert und die Anlage gegebenenfalls abgestellt, obwohl möglicherweise kein Schädigungspotenzial vorliegt. „Diese Sonden erfassen eben nur die Wasserqualität, aber nicht das konkrete Schädigungspotenzial. Zudem sind sie oft kilometerweit von der Turbine entfernt montiert, schwer zugänglich, wartungsintensiv und störanfällig gegenüber diversen Einflüssen“, erklärt Günther Weidenholzer, Teamleiter im Bereich Data Science bei Global Hydro. Gemeinsam mit seinem Team hat er sich auf die Suche nach einer Alternative zu branchenüblichen Trübungsmessungen gemacht und damit bei Global Hydro den Stein ins Rollen gebracht.

Technologie kommt aus der fossilen Industrie

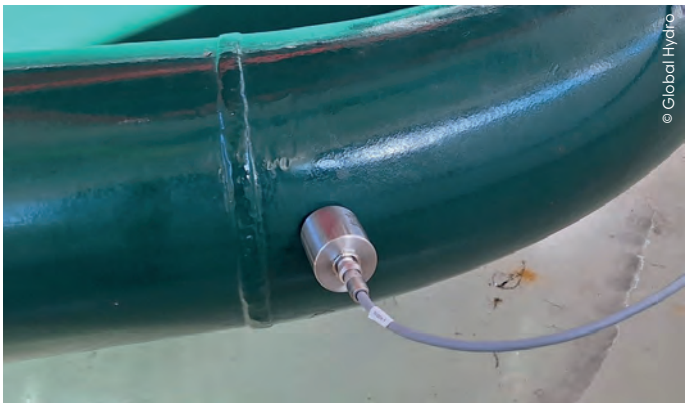
„Wir wollten einen anderen Weg gehen, indem wir mit unserem Ansatz das direkte Schädigungspotenzial detektieren“, sagt Günther Weidenholzer. Den Schlüssel für eine neue techno-

Das Kraftwerk Luggauerbach in Dorfgastein (Österreichische Bundesforste AG) dient als Pilotanlage, die mit Hydrox SediSense überwacht wird.

logische Anwendung sollte er allerdings nicht in der Wasserkraft selbst, sondern vielmehr in der fossilen Energieerzeugung finden. „In der Erdölförderung werden Körperschallanalysen im Ultraschallbereich seit Jahrzehnten genutzt, um abrasive Sandpartikel in Rohrleitungen frühzeitig zu erkennen. Diese robuste und erprobte Technologie haben wir nun für die Entwicklung von Hydrox SediSense erfolgreich für die Wasserkraft adaptiert", so der Ingenieur. Doch wie genau funktioniert das Prinzip hinter der Technologie?

Seit den 1980er-Jahren wird über die Problematik von Sandpartikeln in Förderanlagen sowie Pipelines berichtet. Diese Partikel verursachen bei hoher Strömungsgeschwindigkeit Schäden an Rohrleitungen, insbesondere an Stellen mit Richtungsänderungen, wie etwa nach 90-Grad-Bögen oder an Hindernissen. An genau solchen Stellen kamen erstmals Körperschallsensoren zum Einsatz, um die durch Partikelkollisionen entstehenden Schallereignisse zu erfassen. Das Messprinzip beruht darauf, dass jede Partikelkollision einen Körperschallimpuls erzeugt, dessen Intensität direkt mit dem Ausmaß der mechanischen Belastung und damit der Schädigung korreliert – d.h. doppelte Schallintensität bedeutet in etwa doppelte Schädigung. Und das ist in Rohrleitungen mit Gas genauso wie in solchen mit Wasser.

Auch das Hosenrohr bietet sich für die Applikation der Messsonde an.



Die Körperschallsonde wird einfach am Rohrkrümmer montiert.

Einfache Montage für eine kostengünstige Lösung

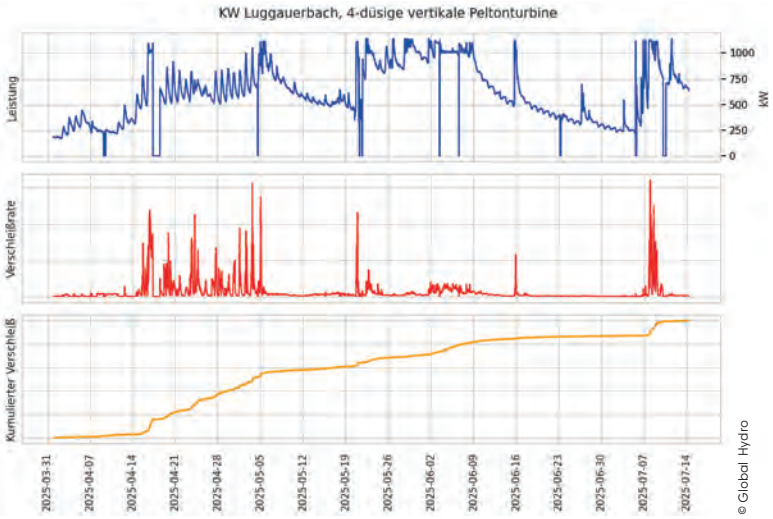
Für eine entsprechende Anwendung dieser Technologie in der Wasserkraft können die Körperschallsensoren an exponierten Bauteilen der Turbine montiert werden. Und das – ein markanter Vorteil – im Trockenen. Die Montage erfolgt in der Regel zerstörungsfrei, ohne Bohren oder Schweißen, zumeist mittels Klebeadaptern. Eine externe Infrastruktur am Einlauf ist obsolet. „Das macht die Lösung besonders attraktiv für Hochdruckanlagen, bei denen der Einlauf oft kilometerweit entfernt liegt. Dank einfacher Integration in bestehende Systeme ist Hydrox SediSense sowohl für Neuanlagen als auch für die Nachrüstung ideal geeignet", erklärt Günther Weidenholzer und räumt ergänzend ein: „Nur bei vertikalen, vollständig einbetonierten Peltonturbinen kann die Nachrüstung technisch anspruchsvoller sein." Konkret können die Sensoren etwa an der Einlaufklappe oder am Konus vor dem Ventil angebracht werden. Im Fall einer Peltonturbine an den Rohrkrümmern oder am Hosenrohr, im Fall der Francisturbine an Spiralgehäuse, Leitschaufel oder Saugrohr.

Neben der Tatsache, dass es sich bei den Körperschallsensoren um eine sehr robuste und völlig wartungsfreie Technologie handelt, bringt sie noch einen weiteren Vorteil mit sich: Sie ist äußerst kostengünstig. Branchenübliche Trübungsmessungen sind zum Teil um ein Mehrfaches teurer.

Von der klassischen Physik zur Datenanalyse

Wenn Sedimente durch das Triebwasser transportiert werden, wirken sie dort am stärksten, wo das Wasser umgeleitet, beschleunigt oder auf feste Strukturen trifft – also etwa an Leitschaufeln, Einlaufbaugruppen oder im Bereich von Krümmungen und Engstellen. „Genau hier platzieren wir die Sensoren: auf den kritischen Turbinenkomponenten im Krafthaus. Sie erfassen Körperschallwellen im Ultraschallbereich, die durch den Aufprall der Sedimentpartikel entstehen. Diese Einschläge erzeugen je nach Größe, Geschwindigkeit und Härte der Partikel ein charakteristisches Schallmuster", erklärt Weidenholzer. Und für die Auswertung dieses Schallmusters bringen die Experten von Global Hydro nun KI ins Spiel.

„Wir haben dafür KI-basierte Algorithmen entwickelt, die die üblichen Betriebsgeräusche abhängig vom aktuellen Betriebszustand abtrennen. Auf diese Weise kann ein spezielles Machine-Learning-Modell die Daten analysieren und jede Abweichung vom Normalbetrieb erkennen", erklärt Daten-Spezi-



Die rote Kurve im Diagramm gibt die Verschleißrate wieder. Auswertung von Hydrox SediSense bei der 4-düsigen Peltonturbine des KW Luggauerbach.

alist Thomas Stütz. Mit anderen Worten: Relevante Einschlagsgeräusche werden intelligent vom Betriebsrauschen getrennt, woraus sich Aussagen über ein mögliches Schädigungsszenario treffen lassen.

Was hier einfach klingt, ist in der Praxis alles andere als trivial. „Eine Schwierigkeit liegt darin, dass Wasserkraftwerke prinzipiell sehr unterschiedlich und komplex sind. In der Datenanalyse besteht die Herausforderung für uns darin, die maßgeblichen Daten mithilfe von KI bestmöglich zu modellieren, um daraus belastbare Aussagen ableiten zu können", sagt Felix Minixhofer vom Data Science Team bei Global Hydro, der zu diesem Thema gerade seine Master-Arbeit schreibt.

Für ihn liegt der Vorteil dieses Ansatzes auf der Hand: „Wir können mit unseren Tools dort messen, wo es die Turbine ‚spürt' und nicht irgendwo in der Wasserfassung."

„Dank KI-Modellen wird aus Schallinformation eine belastbare Entscheidungsgrundlage – und aus digitaler Intelligenz ein echter Betriebs- und Wettbewerbsvorteil", sagt Günther Weidenholzer, Teamleiter im Bereich Data Science bei Global Hydro.

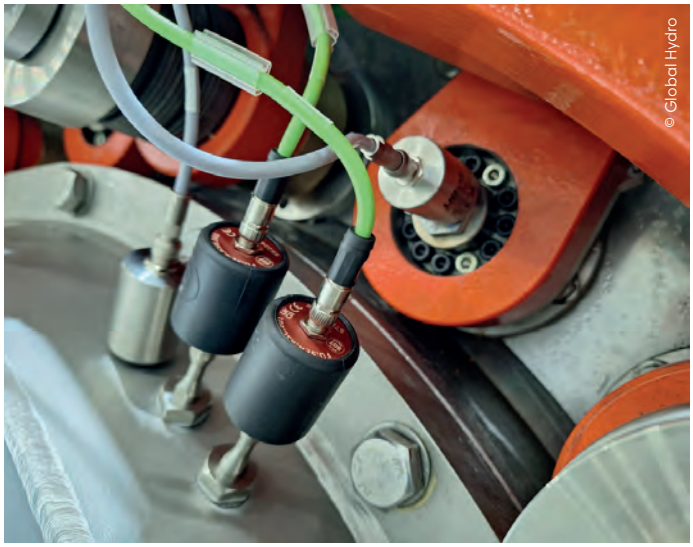
Betriebswirtschaftliche Vorteile dank digitaler Intelligenz

Das KI-Modell von Hydrox SediSense analysiert permanent die akustische Signatur der Turbine im Optimalbetrieb. „Jede noch so kleine Abweichung vom Normalzustand wird erkannt – etwa durch veränderte Einschlagsmuster bei erhöhter Sedimentbelastung. Unsere Data Science Experten interpretieren diese Signale mittels Machine Learning und Anomalieerkennung und können daraus entscheidende Erkenntnisse ableiten, wie: Wann treten schädliche Sedimente auf? Ab welcher Belastung ist ein Abschalten wirtschaftlich sinnvoller als weiterzufahren?", sagt Günther Weidenholzer und ergänzt: „Auf diese Weise wird aus Schallinformation eine belastbare Entscheidungsgrundlage – und aus digitaler Intelligenz ein echter Betriebs- und Wettbewerbsvorteil."

Die daraus abgeleiteten Rückschlüsse ermöglichen nun statt pauschal angesetzter Wartungszyklen präzise Handlungsempfehlungen: Gezielte Abschaltungen werden nur dann vorgenommen, wenn Erosionsschäden tatsächlich betriebswirtschaftlich nicht mehr tragbar sind. Als Grundlage dafür dienen die kontinuierlich weitertrainierten KI-Modelle, die in Echtzeit mit Daten vom Turbinenregler versorgt werden. So lassen sich Zustandsveränderungen früh erkennen, und diese Erkenntnisse in Echtzeit, etwa über Push-Benachrichtigungen auf mobilen Geräten, dem Betreiber zuführen. Eine Option ist, dass auf dieser Basis etwa Unterlieger frühzeitig gewarnt werden können, eine andere, dass man die Lastverteilung zwischen den Turbinen adaptiv optimiert: Welche Einheit verträgt Sedimente unter welcher Last besser? Unterstützung bietet hier die IEC 62364, die Richtlinien zur Bewertung von Sedimenterosion liefert. „Wirtschaftlich entscheidend ist der Zusammenhang zwischen Sedimentbelastung und Wirkungsgradverlust. Das konnte unser Team unter anderem auch in Analysen für renommierte Wasserkraftbetreiber in Österreich aufzeigen", sagt Günther Weidenholzer. Sedimente verändern die Geometrie der Laufräder, wodurch der Wirkungsgrad sinkt – und mit ihm über die Zeit auch die Erträge. Mit seinen neuen Machine-Learning-Modellen gelingt es Global Hydro, hier Transparenz zu schaffen: Sie liefern ein klares Bild über den Zustand der Turbine, etwa auch den Verschleiß von Dichtungen und den wirtschaftlich optimalen Zeitpunkt für Wartungsmaßnahmen.

Wechselwirkung von Sedimenterosion und Kavitation

Ein Punkt, an dem die Ingenieure von Global Hydro noch eifrig tüfteln, ist die Einbeziehung eines bislang unterschätzten Aspekts in der Wasserkraft: die komplexe Wechselwirkung zwischen Sedimenterosion und Kavitation – zwei Phänomene, die sich nicht nur gegenseitig beeinflussen, sondern im schlimmsten Fall sogar gegenseitig verstärken. Beide Prozesse erzeugen Körperschall, was zwar grundsätzlich messbar, aber von der präzisen Zuordnung her zumeist schwierig ist – insbesondere, weil sich die Schadensbilder überlagern. „Kavitation hinterlässt typischerweise feine, scharfkantige Löcher im Laufrad, Sedimente hingegen schleifen die Oberfläche wieder glatt – so entstehen Zyklen von Schädigung und scheinbarer ‚Reparatur', die in der Körperschallanalyse bislang nur schwer differenzierbar waren", erklärt Lorenz Neururer, der das HydroLab leitet und als *der* Experte für Kavitation bei Global Hydro gilt. Besonders bedrohlich für die Turbine wird es, wenn eine ungünstige Betriebsweise mit einer hohen Sedimentfracht zusammentreffen: Dabei können Sedimente Kavitationskeime ausbilden und damit diese Art der Schädigung indirekt forcieren. Umgekehrt bieten beste-



Ein weiterer Vorteil der Körperschallsonden gegenüber den konventionell eingesetzten Trübungssonden ist, dass sie wesentlich günstiger sind.

Renommierte Kraftwerksbetreiber wie TIWAG testen schon heute die Möglichkeiten, die Hydrox SediSense eröffnet: Wie hier beim ÖWK-Kraftwerk Tumpen-Habichen im Tiroler Ötztal.

hende Kavitationsschäden ideale Angriffsflächen für abrasive Partikel. Diese sich gegenseitig verstärkenden Prozesse sind mit herkömmlichen Messmethoden kaum zu erfassen. Mit den neuen Ansätzen über die Körperschallmessungen gelingt es Global Hydro, hier immer mehr Transparenz in die komplexe Wechselwirkung von Erosion und Kavitation zu bringen. Das motivierte Team des oberösterreichischen Wasserkraftspezialisiten gibt sich mit dem Erreichten nicht zufrieden und forscht weiter.

Überzeugende Resultate in Tiroler Referenzprojekt

Erste praktische Anwendungen zeigen schon jetzt eindrucksvoll, wie datenbasierte Entscheidungen schnell zu einem handfesten Mehrwert werden können. Bestes Beispiel: ein aktuelles Pilotprojekt am von der Ötztaler Wasserkraft GmbH errichteten Kraftwerk Tumpen Habichen in Tirol, dessen Betriebsführung der TIWAG obliegt. Es basiert auf langjährigen Messreihen zur Sedimentkonzentration in der Ötztaler Ache. Das Resultat war mehr als überzeugend, wie Thomas Stütz betont: „Das Modell für diese Anwendung konnte sehr schnell trainiert werden, es benötigte eine geringere Datenbasis als angenommen. Die Verantwortlichen der TIWAG erhalten damit einen stabilen, aussagekräftigen Messwert zum Schädigungspotential, den sie in Echtzeit im HydroxConnect Portal einsehen können. Vergleiche mit der Trübungssonde zeigen das HydroxSediSense einen verlässlicheren und besseren Wert liefert." Dabei zeigen die Ergebnisse auch: Die Weltneuheit Hydrox SediSense ist mehr als ein Diagnoseinstrument – es wird zukünftig auch ein Schlüssel zu wirtschaftlich optimiertem Kraftwerksbetrieb.

KI wird Teil eines Präventionskonzepts

Das Tool von Global Hydro markiert einen entscheidenden Fortschritt im Umgang mit sedimentbedingtem Verschleiß in der Wasserkraft – insbesondere in Hochdruckanlagen alpiner und glazial geprägter Regionen, wie sie in Europa und Asien häufig vorkommen. Gerade dort, wo hohe Sedimentfrachten und unzureichende Entsandungsinfrastruktur zusammentreffen, liefert das System belastbare Echtzeitdaten für eine vorausschauende Betriebsführung. Dank einfacher Integration ist es sowohl für Neuanlagen als auch zur Nachrüstung bestens geeignet. „Der eigentliche Paradigmenwechsel liegt im Zusammenspiel von bewährten Schutzmaßnahmen gegen Verschleiß – wie hochfesten Werkstoffen, intelligenten Beschichtungen oder strömungsoptimierten Designs – mit datenbasierter Analyse: Hydrox SediSense erkennt potenzielle Schäden, bevor sie entstehen, und ermöglicht es Betreibern, ihre Betriebsweise dynamisch daran anzupassen. So wird aus punktuellen Maßnahmen ein ganzheitliches Schutzkonzept, das Prävention auf ein neues Niveau hebt", rückt Geschäftsführer Heinz-Peter Knass die Innovation aus dem Hause Global Hydro in einen größeren Rahmen. Für Betreiber, die auf Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Zukunftsfähigkeit setzen, ist Hydrox SediSense weit mehr als ein Mess- und Analysesystem – es ist ein intelligenter Partner im Kampf gegen den unsichtbaren Feind Sediment.

„Hydrox SediSense erkennt potenzielle Schäden, bevor sie entstehen, und ermöglicht es Betreibern, ihre Betriebsweise dynamisch daran anzupassen. So wird aus punktuellen Maßnahmen ein ganzheitliches Schutzkonzept, das Prävention auf ein neues Niveau hebt", sagt Heinz-Peter Knass, Geschäftsführer von Global Hydro.

Mit Hydrox SediSense erweitert Global Hydro seine Digital Solutions um ein innovatives, KI-gestütztes Messsystem zur Echtzeit-Erkennung von Sedimentverschleiß an Turbinen und setzt damit neue Maßstäbe.

Vorteile von Hydrox SediSense

- *Direktmessung der Schädigung: Anders als Trübungssonden, die indirekte Kenngrößen liefern, misst Hydrox SediSense den Einfluss der kinetischen Energie der Partikel – und somit den direkten Verschleiß.*
- *Kostengünstige Hardware, intelligenter Algorithmus*
- *Die Sensorik ist preiswert, robust und einfach zu installieren. Der wahre Wert liegt in der KI-gestützten Auswertung, die individuell für jede Anlage trainiert wird.*
- *Einfach nachzurüsten*
- *Dank der Montage außerhalb des Wassers ist die Lösung perfekt für Anlagen mit schwer zugänglichen Einläufen geeignet, zudem für Kraftwerke in Gletscherregionen oder Gebieten mit starkem Geschiebeeintrag.*

Gefördert durch AWS:

Die Entwicklung und Markteinführung von Hydrox SediSense wurde durch die Austria Wirtschaftsservice GmbH (aws) unterstützt.