

Applikationsbericht

Trübungsmessung zur Verringerung von Abrieb bei Wasserturbinen

Wasserkraftwerke (WKWs) liefern ihren Energiebeitrag aus erneuerbaren Quellen. Die Turbinen im WKW wandeln die Kraft des fließenden Wassers in eine Drehbewegung, die Stromgeneratoren antreibt. Das durch das WKW fließende Wasser kann Schwebstoffe enthalten (Abb. 1). Das Handling dieser Schwebstoffe ist eine der größten Herausforderungen der Konstrukteure und Betreiber der Wasserkraftwerke.



Abb. 1: Gebirgsfluss und mikroskopische Aufnahme abrasiver, im Wasser befindlicher Mineralteilchen (Quelle: ETH Zürich)

Typische Anwendung

Grobes Sediment wird am Wassereinlauf im Kies- und Sandbett entfernt. Die feineren Sedimentpartikel, meist kleiner als 0,3 mm, können nicht vollständig entfernt werden, da die dazu nötigen Anlagen zu teuer wären. Diese relativ feinen Partikel können jedoch signifikanten Abrieb an den Turbinenteilen verursachen (Abb. 2). Dies führt zu hohen Unterhaltskosten und Produktionsverlusten. Ein Hauptgrund des Produktionsverlustes ist die verringerte, durch Abrieb verursachte Turbineneffizienz (Abb. 3).



Abb. 2: Abrieb an einer Pelton-Turbine

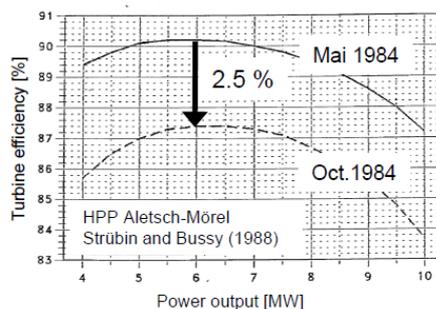


Abb. 3: Abnahme der Turbinenleistung durch Abrieb
Die meisten Abriebprobleme an hydraulischen Turbinen sind von den WKWs im Himalaya, den

südamerikanischen Anden und den europäischen Alpen bekannt. Die Probleme des Abriebs verstärken sich mit

- großem **Höhenunterschied** zwischen dem Einlauf und dem Kraftwerk (mehrere 100 m), welcher eine hohe Geschwindigkeit verursacht
- hoher **Schwebstoffkonzentration (SSK)**, typisch in Laufkraftwerken, z.B. WKW ohne Speichersee, besonders flussabwärts von Gletschern
- **grobem Sediment** (grober Schlamm und feiner Sand, nicht nur Lehm und feiner Schlamm)
- **harten Partikeln**, z.B. ein hoher Quarzanteil, Feldspat usw. (vulkanisches Gestein)
- **kantigen Partikeln**, wie sie typischerweise in Bergregionen gefunden werden
- **Turbinen ohne Schutzbeschichtung**

Viele dieser Faktoren sind relativ konstant. Die SSK kann jedoch je nach Jahreszeit, Lufttemperatur (Gletscher- und Schneeschmelze) und Niederschlag (Flut) schnell und stark variieren. Hohe SSKs bedeuten höhere Produktionskosten pro kWh. Allerdings ist in vielen WKWs die tatsächliche SSK nicht bekannt, da keine Messgeräte zur Echtzeitüberwachung der SSK vorhanden sind. Die SSK kann im Labor mit Flaschenproben über das Gewicht der Trockenmasse (gravimetrisches Verfahren) bestimmt werden. Dieses Verfahren ist genau, liefert aber keine Echtzeitergebnisse und häufiges Probeziehen mit Flaschen ist im Allgemeinen nicht wirtschaftlich machbar. Deshalb werden Ersatzverfahren angewandt, um eine SSK-Schätzung in Echtzeit zu erhalten. Eine dieser Verfahren ist die Trübungsmessung. Die Trübungswerte korrelieren mit der SSK unter Verwendung einer Standortspezifischen Kalibrierung, die auf einer gravimetrischen Analyse von Flaschenproben abgestimmt ist. Die Konvertierung von Trübung zu SSK hängt von der Größe, der Form und der optischen Eigenschaften der Teilchen ab. Da die Teilchengröße über einen Zeitraum variieren kann, können die SSKs aus der Trübungsmessung vorübergehend verzerrt sein. Die Verwendung von Trübungsmessgeräten ist recht weit verbreitet, da sie relativ kostengünstig sind.

Nutzen

Ein Trübungsmessgerät liefert Echtzeit-SSK-Schätzungen des durch die Turbinen fließenden Wassers. Diese Informationen werden für Betriebsentscheidungen genutzt. Bei einer hohen SSK, z.B. >2 oder >10 g/l bei Flutereignissen,

Applikationsbericht

Trübungsmessung zur Verringerung von Abrieb bei Wasserturbinen

können die Stromerzeugungskosten höher sein als die Stromverkaufserlöse. Während dieser Phasen ist es wirtschaftlicher, die Turbinen ein paar Stunden auszuschalten (Abb. 4). Die Bestimmung des SSK führt zu einem kosteneffizienteren Betrieb der WKWs und schützt vor übermäßigem Schaden, der zu Produktionsverlusten führen kann.

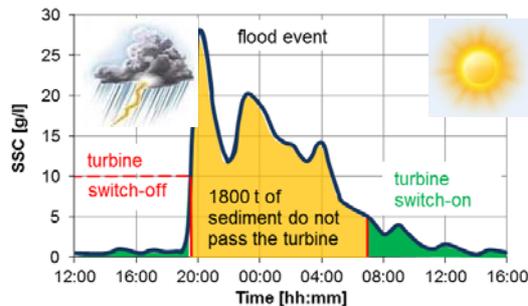


Abb. 4: Zeitreihe der Schwebstoffkonzentration (SSK) mit Turbinenabschaltung über einige Stunden (Beispiel)

Wenn Trübungsmessgeräte über längere Zeit genutzt werden, kann ihre Optik verschmutzen, was zu Signalschwankungen führt. Mit dem **AquaScat** (Abb. 5) ist dies kein Problem, da die Trübung über eine berührungslose Freifallmessung erfolgt und die Optik des Geräts nicht in Kontakt mit dem Schwebstoff-reichen Wasser kommt.



Abb. 5: AquaScat 2 HT / WTM (A)

Installation

Ein **AquaScat** benötigt einen kontinuierlichen Wasserdurchlauf von $\geq 1,3$ Liter pro Minute mit einem Wasserablass bei Umgebungsluftdruck. In einem WKW kann es an folgenden Stellen installiert werden:

- Beim Einlauf, z.B. am Ende des Sandbetts, Wasserzulauf durch eine Pumpe, oder
- in einer Schieberkammer am oberen Ende der Druckrohrleitung, Wasserzulauf durch ein kleines, von der Druckrohrleitung abzweigendes Rohr.

Eine Installation im Kraftwerk ist weniger empfehlenswert, da dann keine Vorwarnzeit besteht und das Wasser nach dem Durchlaufen der Turbinen kleine Luftbläschen enthält, die die Trübungsmessung verfälschen könnten.

Bei den Rohren, Ventilen und Pumpen des Zulaufs sollte besonders darauf geachtet werden, dass sie nicht leicht durch Sandkörner blockiert und dass sie leicht gespült werden können.

Kosten-Nutzen-Analyse

Der erwartete Nutzen eines Trübungsmessgerätes zur SSK-Überwachung, um bei hohen SSK-Werten die Turbinen vorübergehend abzuschalten, hängt von vielen kraftwerksspezifischen Faktoren ab. Bei größeren Turbinen kann die Instandsetzung eines Turbinenlaufrads mehrere 100.000 € kosten. Solch eine Instandsetzung kann schon nach einer einzigen großen Flut nötig werden, wenn das WKW währenddessen betrieben wurde.

Bei einem WKW mit wirtschaftlich wichtigem Turbinenabrieb ist die Installation eines SSK-Überwachungssystems erwartungsgemäß eine vorteilhafte Investition, die sich nach wenigen Flutereignissen auszahlen sollte. Die Kosten des Messgerätes sind üblicherweise weniger entscheidend als der Projektierungsaufwand für folgende Aufgaben: Integration in das Steuerungssystem, Ausarbeitung der Konvertierung von Trübung zu SSK und die Einschätzung des Abschaltwerts des SSK.

Produkte

SIGRIST Produkte und Konfigurationen:

- AquaScat 2 HT oder AquaScat 2 WTM (A)
- Kontrolleinheit für AquaScat 2
- Optional: Durchflussmessung, Niveauregulierung, Entlüftungsrohr

Parameter-Einstellungen:

- Ausarbeitung der Korrelation/Konvertierung zwischen Trübung und SSK
- Bestimmung der Alarmwerte / Grenzwerte

Weitere Informationen

ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), David Felix, felix@vaw.baug.ethz.ch

Hochschule Luzern, Kompetenzzentrum Fluidmechanik und Hydromaschinen, André Abgottspon, andre.abgottspon@hslu.ch

Die Doktorarbeit von D. Felix über Schwebstoffe, Abrieb und Effizienz der Pelton-turbinen wird voraussichtlich im Herbst 2016 veröffentlicht. Die PDF-Datei der Doktorarbeit ist erhältlich unter <https://www.library.ethz.ch/en/>