Applikationsbericht
Trübung in Rohwasser

SIGRIST PROCESS-PHOTOMETER

Das verfügbare Wasser am Eingang einer Wasseraufbereitungsanlage stammt aus unterschiedlicher Herkunft: Grundwasser, aus Flüssen, aus Seen, Quellen. Dementsprechend kann das Wasser unterschiedlich verunreinigt sein. Feststoffe, gelöste organische Kohlenstoffe, Huminstoffe, Bakterien oder Mikroverunreinigungen können in beliebiger Kombination vorhanden sein.

Bild 1: Buenos Aires am Rio Plata aus Sicht eines Satelliten

Bei Oberflächenwasser können sehr viele Feststoffe (Trübung) von einigen FNU bis einigen hundert FNU vorhanden sein, je nach Jahreszeit und/oder Wetterbedingungen. Im Bild sieht man von oben den Rio Plata mit Buenos Aires, wo in Regenzeiten schon über 400 FNU gemessen wurden.

Nutzen
Es gibt Wasserversorgungen, die einfach wissen wollen, wie hoch die Trübung bei der Wasserfassung ist.
Andere messen die Trübung um zu entscheiden, ob das Wasser verworfen werden soll oder welche Aufbereitungsschritte notwendig sind.
Der Trübungswert kann zur Bestimmung der Dosierung von Flockungsmittel verwendet werden.

Typische Anwendung
Das Wasser läuft in einem Kanal oder einem Rohr in die Wasseraufbereitungsanlage. Mit einer Pumpe oder durch hydrostatischen Druck wird eine Probe zum Messgerät geführt.
Je nach Ursprung, Jahreszeit oder Wetterbedingungen beinhaltet dieses Wasser mehr oder weniger Trübung.
Weil an dieser Stelle oft hohe Trübungen vorkommen, wird hier ein AquaScat mit Freifall eingesetzt. Es verschmutzt nicht oder nur sehr wenig und liefert genaue Messwerte, unabhängig davon wie hoch die Trübung tatsächlich ist.

Bild 2: AquaScat WTM / HT

Niveauregulierung
In verschiedenen Fällen stammt das Rohwasser aus einem natürlichen oder einem künstlichen See. Dabei treten oft saisonale Schwankungen beim Wasserstand auf, die zu Druckveränderungen im ganzen Zulaufsystem führen.
Um sicherzustellen, dass stets Wasser durch das AqauScat fliesst, kann eine Niveauregulierung (Bild 3, grün eingekreist) angeboten werden. Der Wasserfluss muss dabei so eingestellt sein, dass beim tiefsten Stand der Rohwasserquelle noch immer ein kleiner Wasserüberlauf (→) besteht.

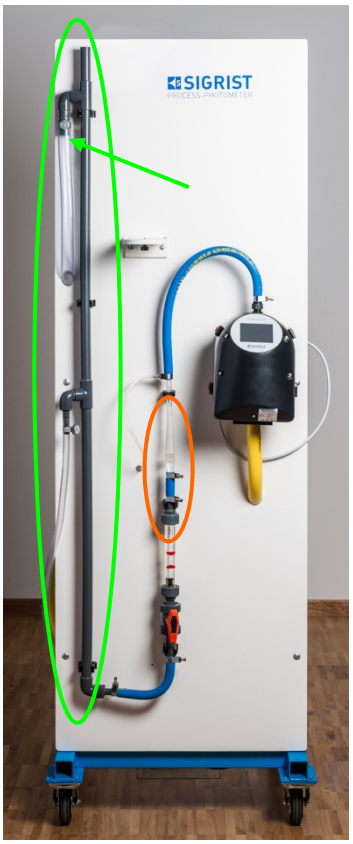


Bild 3: AquaScat mit Niveauregulierung und Entlüftungsrohr

Applikationsbericht
Trübung in Rohwasser

SIGRIST PROCESS-PHOTOMETER

Luftblasen im Wasser

Es gibt Fälle, wo unter Druck stehendes Rohwasser entspannt wird und andere, wo Wasser aus Seen und Flüssen zu der Messstation gepumpt wird. Beides sind Vorgänge, bei denen ein grosses Potential besteht, dass sich Luftblasen bilden. Solche sind bei der Trübungsmessung aber unerwünscht, weil sie die Messung verfälschen. Die Luftblasen können so klein sein, dass sie von blossem Auge nicht sichtbar sind. Eine starke Taschenlampe, auf den Wasserstrahl gerichtet, macht viele Luftblasen sichtbar.
Um Luft zu entfernen, kann das Entlüftungsrohr (Bild 3 & 4, orange eingekreist) angeboten werden. Wenn ein solches Entlüftungsrohr nicht genügt, kann ein zweites oder gar ein drittes in Serie montiert werden.

Bild 4: AquaScat mit Entlüftungsrohr

Kosten- Nutzenberechnung

Das Wasseraufbereitungsunternehmen hat mit dieser Messung eine online Überwachung des Rohwassers. Bei Alarmauslösung kann das Wasser je nach Stärke der Verschmutzung in den Verwurf geleitet werden.
Durch die In-line Messung entsteht Prozesssicherheit.

Produkte

SIGRIST Produkt und Konfiguration:

- AquaScat 2 HT
  (alternativ: alle anderen Modelle)
- Kontrolleinheit für AquaScat 2 HT/WTM
- Optional: Produkte für Niveauregulierung und Entlüftung

Parameter-Einstellungen

- Installation überprüfen gemäss den Richtlinien und Empfehlungen von SIGRIST
- Wasserdurchfluss einstellen
- Schwellwerte für Voralarm und Alarm festlegen

Vorteile des SIGRIST AquaScat HT/WTM

» Nutzen

- Freifall Konzept, das Wasser berührt die Optik nicht
  » Keine Messwertverfälschung und kein Drift wegen Fensterverschmutzung
  » sehr langes Wartungsintervall
  » Metalle wie Mangan, Eisen, etc. verschmutzen die Optik nicht
- Abgleich mit Sekundär Trübungsstandard
  » ermöglicht Nachkalibrierung ohne Formazin
  » Kaufen, lagern, verwalten von Formazin fällt weg
- Die Gerätekonstruktion und verwendete Materialien ermöglichen tiefste Grundaufhellung
  » Ein geringer Nullpunktdrift garantiert die Langzeitstabilität
- Touchscreen mit Farbdisplay
  » Wahlweise können Messwerte, Grafiken und Hinweise dargestellt werden
  » Datenspeicher der letzten 32 Tage

Applikationsbericht
Trübung nach Filter-Rückspülung

SIGRIST PROCESS-PHOTOMETER

In der Wasseraufbereitung werden sehr oft Sandfilter eingesetzt, die alle periodisch gereinigt werden müssen. Für diese Reinigung wird aufbereitetes Wasser verwendet. Dieses Wasser darf oft nicht mehr direkt in die Aufbereitung gelangen, sondern muss nach einer Sedimentationsstufe in die Umwelt entsorgt werden.
Das bedeutet, dass für die Filter-Rückspülung eine grosse Menge von wertvollem Wasser verloren geht.

Bild 1: Sandfilter Anlage

Bild 2: Profil eines Sandfilters

Nutzen
Der Rückspülprozess kann abhängig von der Trübung gesteuert werden. Dies ermöglicht die Optimierung des Wasserverbrauchs und somit können die Kosten gesenkt werden.

Typische Anwendung
Die Filter halten Feststoffe zurück und verschmutzen sich dadurch zwangsläufig. Meistens wird auf der Basis von Druckmessung oder Wasserstand bestimmt, dass ein Filter gespült werden muss.
Die Rückspülung erfolgt, indem von unten Luft und aufbereitetes Wasser in die Filteranlage gepumpt wird. Der Überlauf des Wassers, welches grossen Mengen an Schmutz beinhaltet, wird in ein Absetzbecken geführt. Nach genügend Absetzzeit wird das Wasser in die Umwelt geleitet und der verbleibende Schlamm als Müll oder gar Sondermüll entsprechend entsorgt.
Die Dauer der Filter-Rückspülung, und damit der Wasserverbrauch, wird sehr oft durch eine Zeitkonstante festgelegt. Manchmal sieht man aber auch Mitarbeiter, die am Filterbecken stehen und „aus Erfahrung" sagen können, wann die Rückspülung gestoppt werden kann.

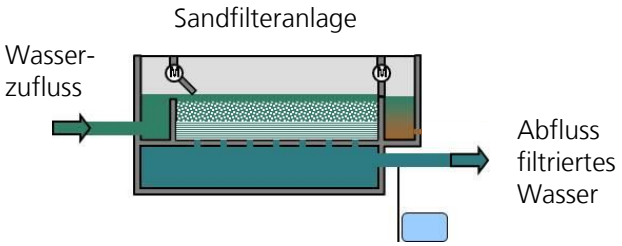


Bild 3: Filterbetrieb

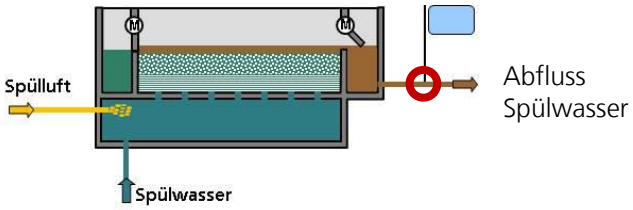


Bild 4: Rückspülbetrieb

Im Ablauf des Rückspülwassers eine Trübungsmessung zu installieren (Bild 4) ist eine zuverlässige Methode.
Der Verlauf der Trübung im Spülwasser Ablauf ist im Bild 5 dargestellt. Die Phasen 1 & 3 zeigen den Zustand vor bzw. nach der Rückspülung.
Die Phase 2 zeigt die eigentliche Rückspülung. Zu Beginn steigt die Trübung sehr schnell an auf ein Niveau von einigen hundert FNU. Diese bleibt für einen beachtlichen Teil der Rückspülzeit hoch. Gegen Ende des Prozesses sinkt die Trübung wieder und nimmt kontinuierlich ab. Das Rückspülwasser wird immer klarer.
Die Dauer der Rückspülung ist üblicherweise im Bereich von 12-20 Minuten, abhängig von der Leistung der Pumpen. Optimieren des Wasserverbrauchs heisst, den Rückspülprozess abhängig von der Trübung zu stoppen.

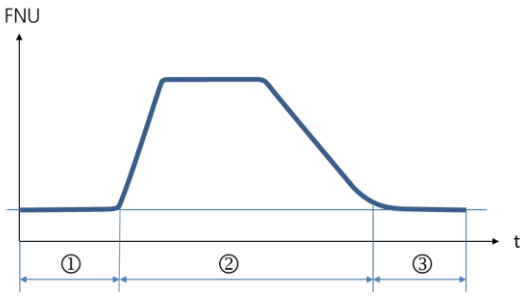


Bild 5: Trübungsverlauf bei der Rückspülung

Applikationsbericht
Trübung nach Filter-Rückspülung

SIGRIST PROCESS-PHOTOMETER

An dieser Stelle soll ein AquaScat HT eingesetzt werden, wodurch die bestmögliche Kosten / Nutzen Rechnung gewährt ist.

Bild 6: AquaScat HT

Kosten - / Nutzenberechnung

Um den Nutzen dieser Vorgehensweise zu berechnen, müssen folgende Angaben bekannt sein:

- Wie oft wird ein Filter gereinigt (1x täglich, alle 48 Stunden ...)?
- Wieviel Wasser in m^3 wird bei einer Reinigung verwendet?
- Welches sind die Herstellkosten bis einschliesslich der Filtration (eventuell Verkaufspreis) pro m^3?
- Gibt es für das Abführen des Rückspülwassers eine Sammelleitung, muss die Anzahl damit verbundener Filter bekannt sein.
- Weil sich die Ersparnis erst im Laufe der Zeit zeigen wird, soll für die Berechnung eine Reduktion des aktuellen Wasserverbrauches von ca. 10-20 % angenommen werden.

Beispielrechnung

Eine Wasserversorgung betreibt eine Sandfilteranlage und muss diese alle 2 Tage rückspülen. Beim vorhandenen Sandfilter wird 150 m^3 Wasser gebraucht für eine Spülung. Die Kosten der Wasseraufbereitung belaufen sich auf 0.5 Euro/ m^3.
Wasserverbrauch pro Jahr: 150 m^3 x 180 Spülungen = 27'000 m^3
Kosten: 27'000 m^3 x 0.5 Euro = 13'500 Euro
Optimierungsgrad angenommen: 15 %
13'500 Euro x 15 % = 2'025 Euro/Jahr
Zusätzlich zur Wassereinsparung wird weniger Strom für die Pumpen gebraucht und die Wasserversorgung verursacht einen tieferen CO_2-Ausstoss.
Investitionsvolumen: ca. 7'000 Euro
Amortisation der Investition: Nach ca. 3½ Jahren

Produkte

SIGRIST Produkt und Konfiguration
- AquaScat 2 HT
- Kontrolleinheit für AquaScat 2 HT/WTM

Parameter-Einstellungen
- Wasserdurchfluss einstellen
- Schwellwerte für Voralarm und Alarm mit Kunden festlegen

Alternative Methoden
- Bestimmen der Rückspüldauer über Zeitkonstante
- Bestimmen der Rückspüldauer „aus Erfahrung"

Vorteile des SIGRIST AquaScat HT
» Kundennutzen
- Freifall Konzept, das Wasser berührt die Optik nicht
  » Keine Messwertverfälschung und kein Drift wegen Fensterverschmutzung
  » sehr langes Wartungsintervall
  » sehr hohe Trübungen sind messbar

- Abgleich mit Sekundär Trübungsstandard
  » ermöglicht Nachkalibrierung ohne Formazin
  » Kaufen, lagern und verwalten von Formazin fällt weg

Applikationsbericht

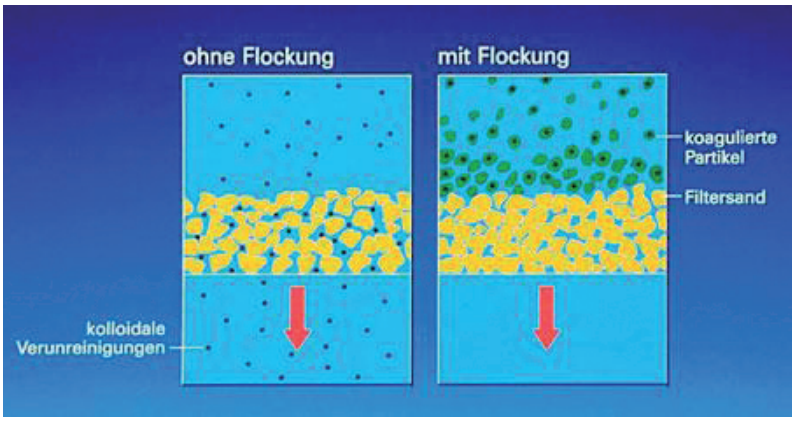
Trübung zur Dosierung von Flockungsmittel

Das Wasser, welches in einer Wasseraufbereitungsanlage behandelt wird, kann unterschiedliche Ursprünge haben. Es kann aus Grundwasser, aus Flüssen, Seen oder Quellen stammen. Dieses Wasser hat, abgesehen von anderen Verunreinigungen, einen unterschiedlich hohen Gehalt an Feststoffen, der sogenannten Trübung.

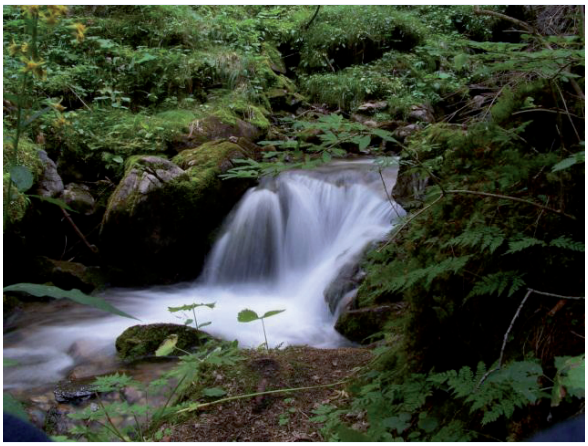
Vor allem Oberflächenwasser kann Trübungswerte von wenigen FNU bis zu einigen hundert FNU aufweisen, je nach Jahreszeit oder Wetterbedingungen. Die Wasseraufbereitung berücksichtigt nun diese Umstände.

In einem ersten Aufbereitungsschritt werden die Feststoffe sedimentiert. Durch die Beigabe von Flockungsmittel wird die Sedimentation beschleunigt. Diese Mittel sind Substanzen, die in der Lage sind, kleinste Teilchen (< 1 µm) zu agglomerieren und damit grössere und schwerere Teilchen, die Makroflocken, zu bilden. Diese Flocken sinken im Sedimentationsbecken schnell ab und können somit vom Wasser getrennt werden.

Die gängigsten Flockungsmittel sind Aluminiumsulfat $Al_2(SO_4)_3$, Eisenchlorid $FeCl_2$ oder Kalkmilch $Ca(OH)_2$.



Funktion der Flockung



Quelle im Alpengebiet

Nutzen

Die Sedimentation ist eine erste grobe Filtration im Behandlungsprozess. Durch diesen Prozessschritt wird erreicht, dass wesentlich weniger Feststoffe in die nachfolgende Filtration geleitet werden und die Filter weniger oft gereinigt (Filter-Rückspülung) werden müssen.

Typische Anwendung

Beim Wassereintritt wird Flockungsmittel beigegeben. Dabei wird sehr oft die Durchflussmenge des Wassers gemessen und das Flockungsmittel mengenabhängig dazu dosiert; 20 – 30 mg/l Flockungsmittel ist eine typische Menge.

Anstelle der statischen Dosierung kann ein AquaScat HT/WTM eingesetzt werden, um die Menge Flockungsmittel in Funktion der vorhandenen Trübung zu dosieren. Damit kann der Verbrauch von Flockungsmittel optimiert werden.

Applikationsbericht
Trübung zur Dosierung von Flockungsmittel

Kosten-Nutzenberechnung

Der Einsatz eines Gerätes, welches bei jeder möglichen Trübung präzise messen kann, rechnet sich wie folgt:

Prozessdaten

Die folgenden Angaben sind Richtwerte. Es ist notwendig, die Parameter in der einzelnen Wasserversorgung zu erfragen und entsprechend in die Rechnung einfliessen zu lassen.

E: Kosteneinsparung in €/Jahr
K: Kosten des Flockungsmittels (200 €/1'000 kg)
Mr: Menge zu behandelndes Rohwasser in m3 (1 Mio) pro Jahr
Mf: Aktuell eingesetzte Menge Flockungsmittel pro Liter Wasser (25 mg/l)
R: Geschätzte Reduktion der Kosten für Flockungsmittelbeschaffung (15 %)

Berechnung der Einsparung E (pro Jahr):

E (€) = Mr x Mf x K x R

= (1'000'000 x 1'000)l x 25/1'000 mg/l x 0.2/1'000 €/mg x 15/100 %

= 750 €

Die genaue Einsparung kann nur im Laufe der Zeit ermittelt werden und ist wesentlich vom Verlauf der Trübung und der Menge zu behandelndem Wasser abhängig. Die Investition in ein AquaScat zahlt sich nach einigen Jahren aus.

Produkte

SIGRIST Produkt und Konfiguration für diese Anwendung:

- AquaScat HT (alternativ: alle anderen Modelle)
- Kontrolleinheit für AquaScat HT/WTM
- Optional: Produkte für Niveauregulierung und Entlüftung beschrieben im Dokument «Entlüftungskonzept und Niveauregulierung» (RepWeb → AquaScat → Verkaufshilfen)

Parameter-Einstellungen

- Installation überprüfen nach Vorlagen unter RepWeb → AquaScat → Dokumentation → Zeichnungen → Einbauvorschlag
- Wasserdurchfluss einstellen
- Trübungsschwellwerte für Voralarm und Alarm mit Kunden festlegen
- Dosierung des Flockungsmittels mit dem Analogausgang korrelieren

Alternative Methoden

- Feste, volumenabhängige Einstellung der Dosierung

AquaScat WTM/HT

Vorteile des SIGRIST AquaScat HT/WTM

Kundennutzen

- Freifall Konzept, das Wasser berührt die Optik nicht
- Keine Messwertverfälschung und kein Drift wegen Fensterverschmutzung
- Sehr langes Wartungsintervall
- Metalle wie Mangan, Eisen, etc. verschmutzen die Optik nicht
- Abgleich mit Sekundär-Trübungsstandard ermöglicht Nachkalibrierung ohne Formazin
- Kaufen, lagern, verwalten von Formazin fällt weg
- Die Gerätekonstruktion und die verwendeten Materialien ermöglichen tiefste Grundaufhellung
- Eine geringe Nullpunktdrift garantiert die Langzeitstabilität
- Touchscreen mit Farbdisplay; wahlweise können Messwerte, Grafiken und Hinweise dargestellt werden
- Datenspeicher der letzten 32 Tage

Dok. Nr. 11844D/V2

SIGRIST
PROCESS-PHOTOMETER

SIGRIST-PHOTOMETER AG
Hofurlistrasse 1 · CH-6373 Ennetbürgen
Tel. +41 41 624 54 54 · Fax +41 41 624 54 55
www.photometer.com · info@photometer.com

Applikationsbericht
Trübung zur Reduktion der Abnützung von Wasserturbinen

SIGRIST PROCESS-PHOTOMETER

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).

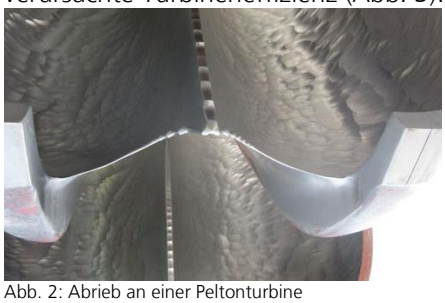


Abb. 2: Abrieb an einer Peltonturbine

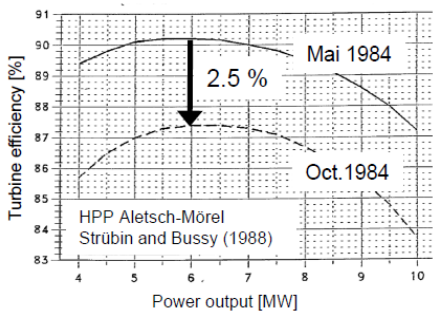


Abb. 3: Abnahme der Turbinenleistung durch Abrieb

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 Echzeit-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
Trübung zur Reduktion der Abnützung von 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.

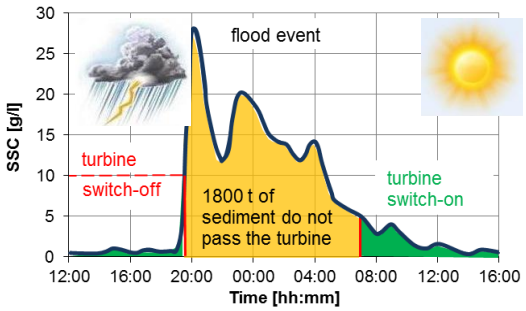


Abb. 4: Zeitreihe der Schwebstoffkonzentration (SSK) mit Turbinenabschaltung über einige Stunden (Beispiel)

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 ≥ 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 bestünde und das Wasser nach dem Durchlaufen der Turbinen kleine Luftbläschen enthalten, 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 Peltonturbinen wird voraussichtlich im Herbst 2016 veröffentlicht. Die PDF-Datei der Doktorarbeit ist erhältlich unter https://www.library.ethz.ch/en/