Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

VERSCHMUTZUNG VON KLEINWASSER-KRAFTANLAGEN

Jahresbericht 2008

Autor und Koautoren	André Abgottspon, Prof. Dr. Thomas Staubli
beauftragte Institution	Hochschule Luzern, Technik & Architektur
Adresse	Technikumstrasse 21, 6048 Horw
Telefon, E-mail, Internetadresse	+41 41 349 33 11, andre.abgottspon@hslu.ch, thomas.staubli@hslu.ch, www.hslu.ch/technik-architektur
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	102390, 153010
BFE-Projektleiter	Bruno Guggisberg (BFE), Martin Bölli (entec), Klaus Jorde (entec)
Dauer des Projekts (von – bis)	15.11.2007 – 30.09.2009
Datum	27.11.2008

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Projektarbeit befasst sich mit der Verschmutzungsproblematik in Kleinwasserkraftanlagen. Sie wurde Ende 2007 von der Hochschule Luzern Technik & Architektur (HSLU) initiiert. Hauptziel ist, eine möglichst repräsentative Übersicht der Verschmutzungsthematik in der Schweiz zu erhalten. Dabei soll möglichst viel vom Partnerprojekt in Deutschland, welches die gleiche Thematik im Raume Stuttgart untersucht, miteinbezogen werden. Diese Studie wird vom Institut für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen, Universität Stuttgart (IHS) durchgeführt. Das IHS untersucht dabei vor allem mittels numerischer Strömungssimulation verschiedene Spülvorgänge.

Zur Erreichung des oben genannten Zieles werden von der HSLU verschiedene schweizerische Kleinwasserkraftbetreiber anhand eines Fragebogens kontaktiert. Eine erste Befragung von Herr Robert Schnider, Verantwortlicher des KWKW Freienstein, bewies die Tauglichkeit dieses Vorgehens und die Brauchbarkeit des erstellten Fragebogens. Quantitativ sollen Befragungen von mindestens 10 Beteiligten erhoben werden. Ein Syntheseberichtsoll die Erfahrungen der Kraftwerksbetreiber anschaulich vermitteln.

Die Befragung von Herr Robert Schnider hat ergeben, dass im KWKW Freienstein die Verschmutzungsproblematik das ganze Jahr auftritt. Im KWKW Freienstein ist ein Spülprogramm installiert, wobei die Leit- und Laufradstellung während 1.5min derart variiert werden, dass die ursprüngliche Leistung nach dem Spülvorgang wieder erreicht werden kann. Dies wird im vorliegenden Bericht anhand eines typischen Tagesverlaufs veranschaulicht. Im KWKW Freienstein besteht die Möglichkeit das Spülintervall festzulegen. Dennoch gibt es kein eigentliches Spülkriterium, wonach die Einstellung des Spülintervalls qualitativen Kriterien entspricht. Hierbei ist ein Optimierungspotential vorhanden, auch unter dem Gesichtspunkt einer zukünftigen Energieverlustanalyse des Betriebs mit Spülprogrammen.

Die Befragung hat die Ganzheit und damit auch die Randbedingungen der Verschmutzung im KWKW Freienstein aufgezeigt. Sie stellt eine optimale Basis für die geplante Indexwirkungsgradmessung dar, welche als Langzeitmessung im Kraftwerk installiert und im vorliegenden Bericht beschrieben wird. Mit der numerischen Strömungsanalyse des IHS und den messtechnischen Daten der HSLU ergibt sich für das KWKW Freienstein eine umfassende Untersuchung.

Projektziele

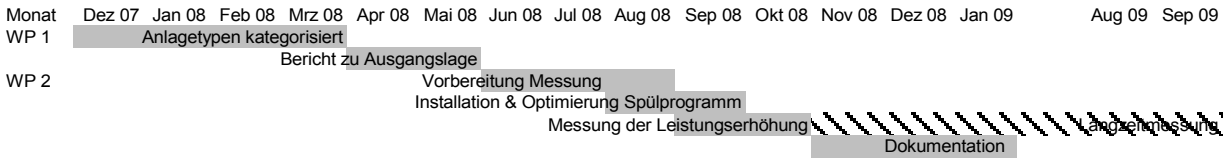
Bedeutung des Projekts:

Kleinwasserkraftwerke liefern in der Schweiz einen wertvollen Beitrag zur Stromversorgung. Wie die Studien im Rahmen des Programms Kleinwasserkraft des BFE zeigen, machen steigende Energiepreise alte wie auch ganz neue Standorte attraktiv. Diese Anlagen arbeiten - bei sachgemässer Auslegung und Installation - normalerweise effizient und mit einem hohen Wirkungsgrad. Ein Problem ergibt sich aber häufig durch die Verschmutzung der Turbinen. Dies ist vor allem im Herbst und bei starken Regenfällen der Fall, wenn grosse Mengen an Laub, Geäst und Ähnlichem anfallen.

Nach einer Erhebung der Universität Stuttgart [1] stellt die Verschmutzung das im Grossraum Stuttgart am häufigsten auftretende und grösste Problem bei Kleinanlagen dar. Dadurch kann der Wirkungsgrad der Anlage innerhalb kurzer Zeit um 30-40% abfallen. Das bedeutet, dass sehr häufig entsprechende Spülprogramme durchgeführt werden müssen. In manchen Anlagen muss dies bei grossem Treibgutanfall im halbstündigen Rhythmus geschehen. Während des Spülens kann kein Strom produziert werden, je nach Spülprogramm wird von der Turbine sogar Leistung aufgenommen. Durch die Häufigkeit des Spülens und der in den Intervallen rasch zunehmenden Verlusten ergibt sich damit ein erheblicher Verlust an Jahresarbeit, der je nach Anlage im Bereich von 3-10% der Jahresproduktion liegen kann. Durch effizientere Spülprogramme sowie durch eventuelle bauliche Optimierungen oder durch ein angepasstes Design, kann ein grosser Teil dieser Verluste reduziert werden.

Lösungsweg und Projektdauer:

Im Projektantrag vom 31.10.2007 sind ein Zeitplan und die dazugehörigen Workpackages aufgeführt:



WP1 Zusammentragen von vorhandenen Erfahrungen
Teilnahme an Sitzungen in Deutschland
Befragung von schweizerischen Betreibern
Kategorisierung der Anlagentypen betreffend Verschmutzung
Deliverables: Bericht zu Ausgangslage.

WP2 Installation des Spülprogramms im KW Freienstein, Töss
Optimierung des Spülprogramms
Messung der Leistungserhöhung
Langzeiterfahrung
Deliverables: Dokumentation des Fallbeispiels, Quantifizierung des Verbesserungspotenzials

Am 13.07.2007 fand in Stuttgart eine Startsitzung/Gedankenaustausch zur Verschmutzungsproblematik statt. Dabei wurde vor allem auf die Minderleistung im KWKW Freienstein eingegangen. Daraus leiteten sich der Projektantrag vom 31.10.2007 an das BfE sowie der Vertrag zwischen dem BFE und der HSLU ab, welcher Mitte November 2007 genehmigt wurde.

Die erste Arbeitssitzung in Stuttgart fand am 28.05.2008 statt. Ziel dieser Sitzung war, die beiden Forschungsarbeiten zu koordinieren und Kriterien für die Verschmutzungsproblematik zu definieren. Vorderhand ging es auch um ein Kennen lernen der beteiligten Personen die in die beiden Projekten miteinbezogen sind:

- HSLU: Prof. Dr. Thomas Staubli
  André Abgottspon

- IHS: Dr.-Ing. Albert Ruprecht
  Matijas Jurić

Die zweite Arbeitssitzung in Stuttgart fand am 24.11.2008 statt. Dabei wurde seitens der HSLU die geplante Indexwirkungsgradmessung im KWKW Freienstein vorgestellt. Seitens des IHS wurden erste Resultate der numerischen Strömungssimulation der Anlage Freienstein präsentiert. Aufgrund der

Teilnahme der Industriepartner (vgl. Kap. Internationale Zusammenarbeit) für das Projekt am IHS sind weitere konstruktive Inputs für unsere Messkampagne in Freienstein eingeflossen.

Ende Oktober 2008 kam ein erster Kontakt zwischen der HSLU und Herr Robert Schnider, Verantwortlicher beim KWKW Freienstein, zu Stande. Es wurde die Vorgehensweise für eine Installation einer Indexwirkungsgradmessung in Freienstein diskutiert. Am 11.11.2008 war die Anlage in Freienstein trocken gelegt, wobei eine Besichtigung der Anlage durch die HSLU durchgeführt wurde, um die einzelnen Messstellen zu inspizieren und die benötigten Messgrössen von der Betriebsinstrumentierung festzulegen. Es zeigte sich, dass eine Instrumentierung nur bei einer Trockenlegung der Anlage möglich ist.

Betrachtet man den obigen Zeitplan, kann eine Verzögerung von etwa einem halben Jahr festgestellt werden. Dies ist vor allem auf Personalmangel seitens der HSLU für das Frühjahr 2008 zurückzuführen. Dies bedeutet, dass der obige Zeitplan derzeit keinen Sinn macht. Wir schlagen daher vor, den nachfolgend aufgeführten revidierten Zeitplan als neue Ausgangslage anzusehen. Auch die Aufteilung der Workpackages und deren Inhalt wurden nach dem jetzigen Projektstand und den neuen Erfahrungen angepasst. Der Projektabschluss wurde um 5 Monate auf den 26.02.2010 verschoben. Mit der Projektverlängerung ergeben sich kein zusätzlichen Kosten, womit der finanzielle Aufwand unverändert bleibt .

Monat	10.08	11.08	12.08	1.09	2.09	3.09	4.09	5.09	6.09	7.09	8.09	9.09	10.09	11.09	12.09	1.10	2.10
	Sitzungsteilnahme/Informationsaustausch mit IHS																
WP 1	Befragung von schweizerischen Betreibern																
	Kategorisierung der Anlagentypen betreffend Verschmutzung																
	Deliverables: Bericht zur Verschmutzungsproblematik von befragten schweizerischen Betreibern																
WP 2	Vorbereitung für Indexwirkungsgradmessung KWKW Freienstein																
	Langzeitmessung im KWKW Freienstein																
	Deliverables: Dokumentation des Fallbeispiels																
Jahresbericht 2009																	
Schlussbericht																	

- Dauernd:
    - Zusammentragen von vorhandenen/neuen Erfahrungen (Literaturstudium)
    - Sitzungsteilnahmen und Informationsaustausch mit Partnerinstitut IHS
- WP 1:
    - bereits durchgeführte Befragung KWKW Freienstein (siehe Anhang)
    - zwischen Februar 2009 und August 2009 Ermittlung und Befragung von weiteren typischen Kraftwerksanlagen mit Verschmutzungsproblematik (Ziel 10 Kraftwerksanlagen)
    - anschliessend Bericht mit Zusammenstellung verschiedener Verschmutzungs-/Anlagenkriterien
- WP 2:
    - Derzeit wird die Indexwirkungsgradmessung für das KWKW Freienstein vorbereitet.
    - Ab Februar oder März 2009 sollte die Dauermessung in Betrieb genommen werden.
    - Bis November/Dezember 2009 soll die Dauermessung alternierend untersucht/analysiert werden und dazwischen eventuell mit weiteren Untersuchungen wie Visualisierung Laufradströmung oder Beschleunigungsmessung an Lagerkörper unterstützt werden.
- Jahresbericht 2009:
    - Ende November 2009 ist ein Bericht über den Fortschritt der Untersuchungen und eine Bewertung zur Erreichung der Projektziele an das BFE abzugeben.
- Schlussbericht:
    - Ende Februar 2010 ist ein Bericht mit sämtlichen Untersuchungen und Erkenntnissen bezüglich der Verschmutzungsproblematik an das BFE abzugeben.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Beschreibung des Stands der Technik (derzeitige Ausgangslage):

Eine wissenschaftliche Darstellung der Verschmutzungsproblematik ist nur sehr vereinzelt in der Literatur zu finden und vergleichende Untersuchungen zu Spülprogrammen sind nicht verfügbar. Ausschlaggebend für das vorliegende Projekt war eine Studie zur Ertüchtigung der kleinen Wasserkraft in der Region Stuttgart, vgl. [1]. Die Befragung von rund 100 Betreibern von kleinen und mittleren Wasserkraftanlagen verdeutlicht die Verschmutzung bzw. Reinigung der Turbinen- und Leitapparatschaufeln als eine der Hauptschwierigkeiten beim Betrieb. Die gleiche Aussage wird auch von Bruno Guggisberg, bis Ende 2007 Verantwortlicher für den Bereich Kleinwasserkraft beim BFE, vgl. [5], bei einem Interview bestätigt: „Für den Betrieb wären wartungsfreie Rechen sowie optimierte Spülprogramme ein wichtiger Beitrag."

Etwa 80% der Befragten in der oben erwähnten Studie [1] geben an, dass sie durch die Verschmutzung der Turbine mit Laub und Treibgut (Geschwemmsel) erhebliche Leistungseinbussen hinnehmen müssen. Diese Daten werden durch eine Untersuchung zu Verlusten bei der Anströmung von Wasserkraftanlagen, vgl. [2], bestätigt. Hier geben 67% der befragten Betreiber von Kraftwerken mit Rohrturbinen grosse Leistungsminderungen durch Verunreinigungen an. Ausserdem wird in der Studie ein allgemeiner Zusammenhang zwischen der Verschmutzung des Triebwassers und dem Anlagenwirkungsgrad hergestellt.

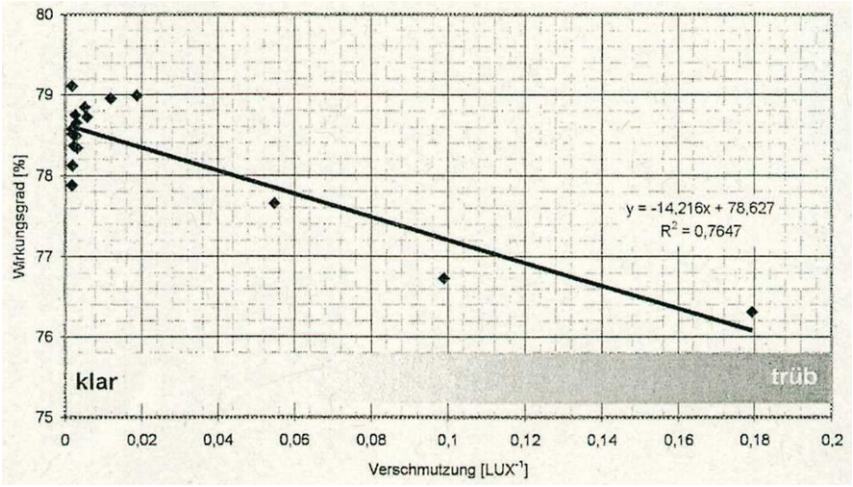


Fig. 1 Zusammenhang zwischen der Verschmutzung des Triebwassers und dem Anlagenwirkungsgrad [2]

Die auf der Horizontalen aufgetragene Verschmutzung/Trübung stellt ein Mass für den Algengehalt und den Gehalt an Schwebstoffen im Wasser dar. Die Trübheit wurde bei der Studie mit Hilfe eines Laserstrahls gemessen. Die Trübheit wird dabei als der Kehrwert der Intensität des am Ende ankommenden Lichtes definiert (Einheit Lux^{-1}). Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass mit zunehmender Verschmutzung des Wassers ein eindeutiger Wirkungsgradrückgang beobachtet werden kann.

Vielen Kleinwasserkraftanlagen sind Rechen vorgeschaltet. Dieses für die Untersuchung der Verschmutzungsproblematik wichtige Element wurde beispielsweise in [6] an der Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW) an der ETHZ untersucht. Zum Schutz der Fische wurden von Verbänden Forderungen laut, die Stababstände der Rechen einheitlich auf 20mm und die Anströmgeschwindigkeit vor dem Einlaufrechen auf 0.5m/s festzulegen. Die erwähnte Studie zum Thema Einlaufrechen beurteilt diesen 20mm-Rechen nicht nur im Hinblick auf die grossen Verluste sehr kritisch. Es wird angemerkt, dass durch den geringen Rechenstababstand dem Fluss mehr Geschwemmsel entnommen wird. Dies ist ein Faktum, welches im direkten Gegensatz zu den Aussagen der Kraftwerksbetreiber steht, die sich möglichst wenig Geschwemmsel zur Turbine hin wünschen.

Anhand einer Diskussion beim Kleinwasserkraftseminar 2003, vgl. [3], werden verschiedene Strategien bei der Reinigung der Turbine und des Leitapparates während des Betriebs deutlich. Dabei zeigt sich ein grosses Verbesserungspotenzial.

Die Verschmutzung betrifft die verschiedenen Anlagenbauteile:

- Rechen
- Stützschaufeln
- Leitschaufeln
- Laufschaufeln

Üblich ist es dabei, den Rechen mittels Reinigungsmaschine zu säubern. Dies erfolgt meist automatisch ohne nennenswerte Störung des Betriebs. Als Optimierung des Reinigungsvorgangs kann das Kriterium zum Start der Reinigung verbessert werden. Durch bauliche Optimierungen, z. B. des Trennpfeilers zwischen Wehr und Turbinenanlage kann auch eine deutliche Verbesserung der Situation erreicht werden, siehe [4].

Zur Reinigung der Turbine hingegen - von den Stützschaufeln bis zu den Laufradschaufeln muss ein entsprechendes Reinigungsprogramm durchgeführt werden, bei dem die Turbine meist geschlossen wird und damit eine erhebliche Beeinflussung des Betriebs auftritt. Obwohl die Verschmutzung der Kleinwasserkraftanlagen eines der grössten Probleme darstellt, gibt es dennoch in der Literatur keine Aussagen über optimierte Spülvorgänge. Jede Firma hat hier ihre eigene Philosophie, die stark vom Turbinen-Typ (doppeltreguliert oder einfachreguliert) abhängt. Es kommen u.a. folgende Programme zum Einsatz:

Bei Turbinen mit drehbaren Laufschaufeln (doppeltreguliert):

- Durchschwenken der Laufschaufeln in „negative Öffnungen“
- Schliessen des Leitapparates bei gleichzeitigem Öffnen des Laufrades
- Durchbrennen
- Abstellen der Maschine und Wiederanfahren

Bei Turbinen mit feststehenden Laufschaufeln (einfachreguliert):

- Schliessen des Leitapparates, Anlage am Netz, Drehzahl wird beibehalten
- Abstellen der Maschine und Wiederanfahren

Dies sind die meistverwendeten Spülprogramme, eine systematische Untersuchung und einen Vergleich der Effizienz gibt es nicht.

Zur Dokumentation des derzeitigen Zustandes und zur Unterstreichung der Notwendigkeit des häufigen Spülens wurden in der Anlage Süssen (DE) der Firma Grau am 09.11.2007 Leistungsmessungen von unserem internationalen Partner IHS (vgl. Kap. Internationale Zusammenarbeit) durchgeführt [7]. Hauptziel war es, eine Leistungskurve über die Zeit zu bekommen. Während den Messreihen lief kein Spülprogramm. Das Messintervall betrug 5min. Es wurden 2 Messreihen durchgeführt, eine bei Volllast und eine bei Teillast.

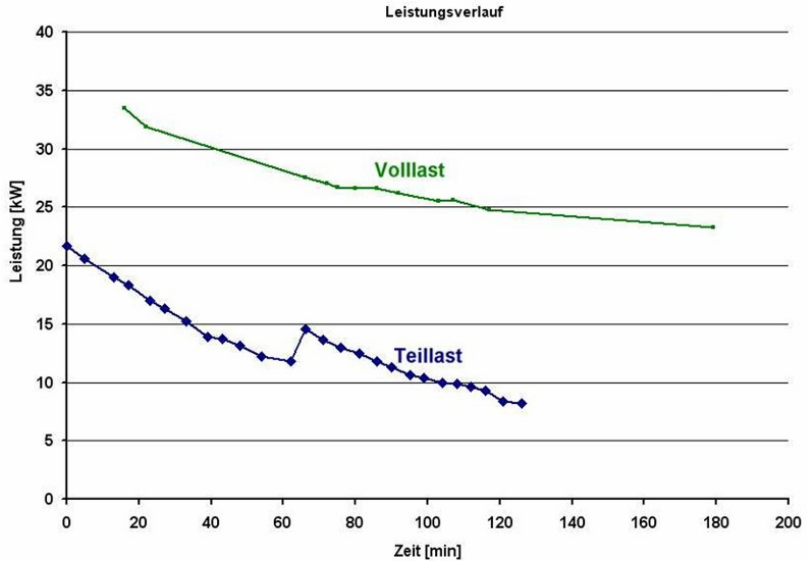


Fig. 2 Leistungsverlauf über die Zeit in der Anlage Süssen (DE) [7]

Besonders im Teillastbereich ist der starke Leistungsabfall sichtbar. Die Leistung reduziert sich um über 50% in weniger als 2 Stunden und es ist immer noch kein ausgeprägter Sättigungsbereich zu erkennen. Auch bei Volllast zeigt sich ein deutlicher Leistungsabfall. Der Knick in der unteren Messreihe ist nicht zu erklären, da die restlichen Werte wie Ober- und Unterwasserhöhe sich dadurch nicht deutlich geändert haben. Eventuell hat sich ein Teil der Verschmutzung selbständig gelöst.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein effektiveres Spülprogramm, bei dem nicht die ganze Maschine abgeschaltet werden muss (derzeitiges Spülprogramm in der Anlage Süssen), bei dieser Anlage zu einer deutlich höheren Leistungsausbeute führen würde.

Beschreibung der Messkampagne im KWKW Freienstein:

Im Kleinwasserkraftwerk Freienstein ist eine vertikalachsige doppelt-regulierte Kaplanturbine installiert. Es steht ein Gefälle von rund 6m zur Verfügung und die Kaplanturbine hat eine installierte Leistung von rund 600kW. Die Ausbauwassermenge beträgt 12m^3/s.

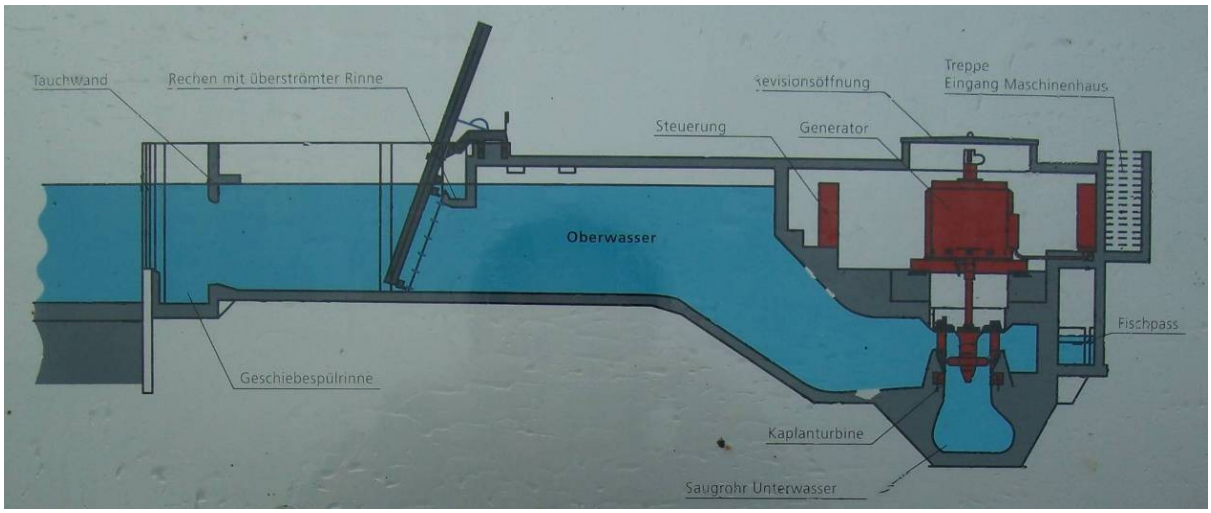


Fig. 3 Querschnitt im Oberwasser durch das KWKW Freienstein

Das WP 2 beinhaltet die Langzeitmessung im KWKW Freienstein. Ziel der Messkampagne ist, nicht nur die Leistungskurve über der Zeit auszuwerten sondern auch den Indexwirkungsgrad. Der Indexwirkungsgrad ist folgendermassen definiert:

$$\eta_{index} = \frac{P_{Generator}}{\rho g H Q_{index}}$$

Dazu wird unter anderem folgende Instrumentierung oberwasserseitig benötigt (die mit einem Stern bezeichneten Grössen werden von der Betriebsinstrumentierung übernommen):

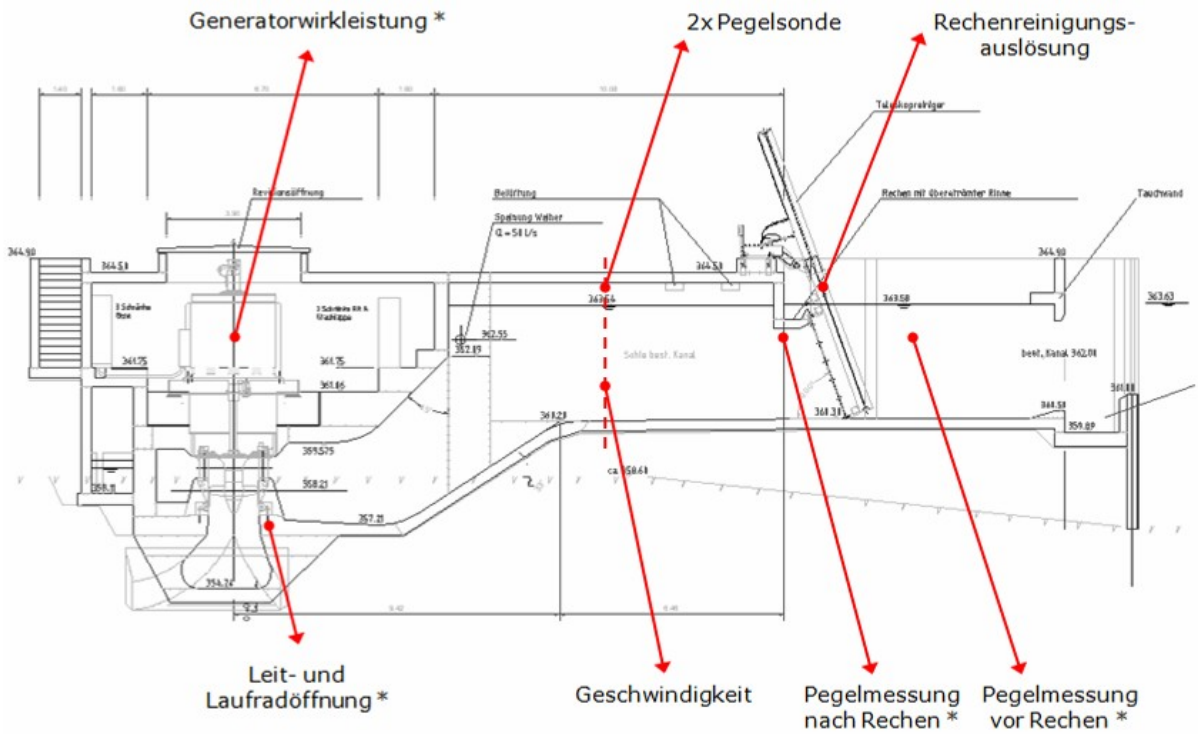


Fig. 4 Instrumentierung Oberwasserseite KWKW Freienstein

Die Geschwindigkeitsmessung wird mittels eingetauchter Messsonde realisiert. Das Messprinzip basiert auf der elektromagnetischen Induktion, welche proportional zur Fluidgeschwindigkeit ist. Die Instrumentierung unterwasserseitig:

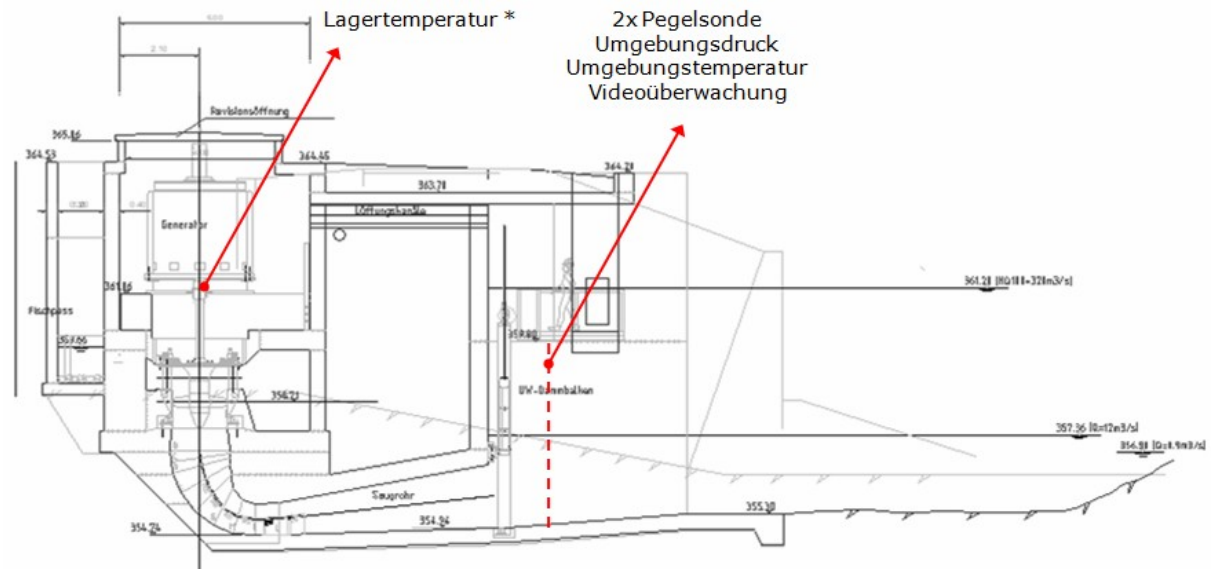


Fig. 5 Instrumentierung Unterwasserseite KWKW Freienstein

Derzeit wird an der Ausarbeitung und Spezifikation der einzelnen Messgrössen/Messebenen gearbeitet. Eine Installation der Messgrössen bei der Oberwasserseite ist nur bei einer Trockenlegung (setzten des Dammbalkens) möglich.

Herr Robert Schnider hat der HSLU folgende Messdaten der Betriebsinstrumentierung vom 30.10.2008 zur Verfügung gestellt. Sie zeigen einen typischen Tagesverlauf im Herbst:

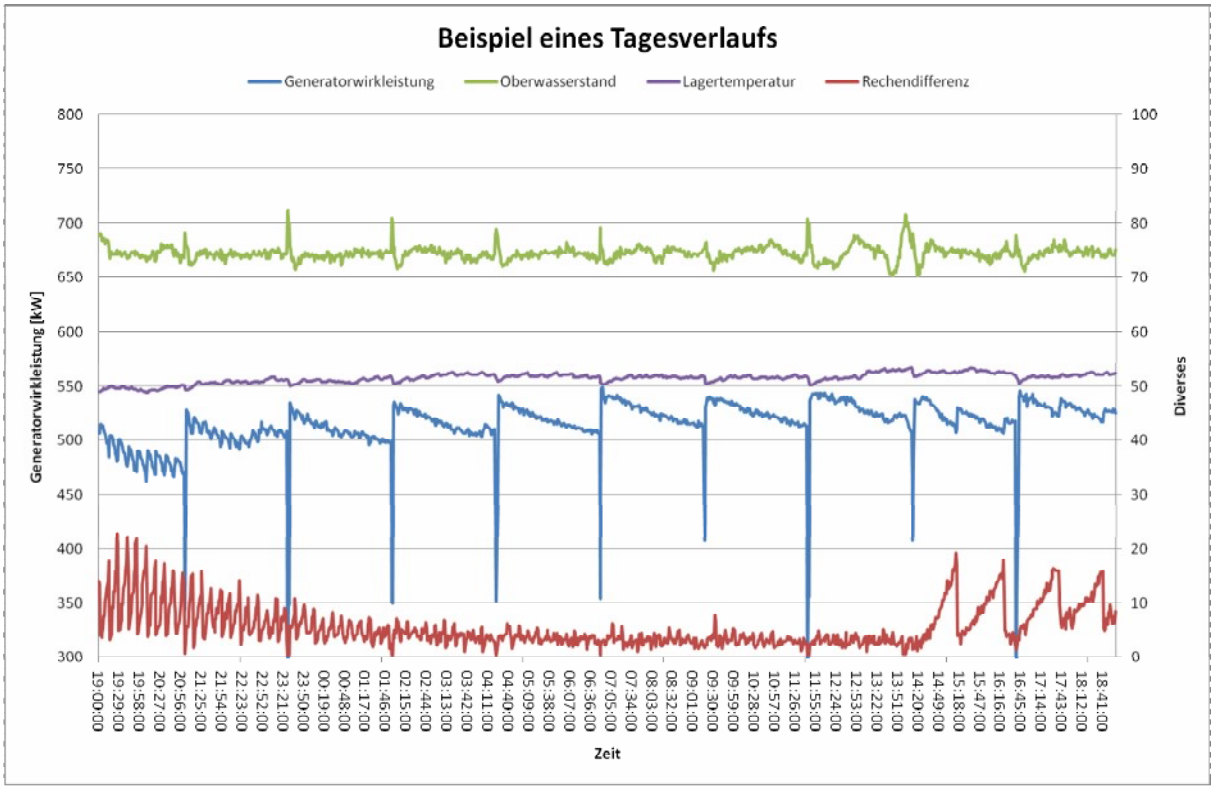


Fig. 6 Beispiel eines Tagesverlaufs im KWKW Freienstein (ausgehändigt von Herr Robert Schnider)

Aus obigem Diagramm lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Es wird alle 2 Stunden ein Spülvorgang gestartet.
- Die Leistungseinbusse vor dem Spülvorgang beträgt 30-50kW, was 5-9% der Nominalleistung von 570kW entspricht.

- Bei jedem Spülvorgang ist ein starker Leistungsrückgang feststellbar. Dies kann durch den Spülprozess selbst erklärt werden, wonach während 1min der Leitapparat und die Laufschaufeln fast geschlossen werden.
- Der Spülvorgang (am besten gekennzeichnet durch den Leistungsverlauf) hat direkten Einfluss auf den Oberwasserstand (kurzzeitiger Anstieg), was wiederum durch den Rückgang des Volumenstromes während dem Spülvorgang erklärt werden kann.
- Der Spülvorgang hat einen direkten Einfluss auf die Lagertemperatur (kurzzeitiges Absinken). Dies muss offensichtlich mit der geringeren Wellenbelastung gekoppelt sein während dem Spülvorgang.
- Ein direkter Zusammenhang zwischen Spülvorgang und Druckdifferenz am Rechen kann mit obigen Daten nicht restlos geklärt werden. Die schwingende Druckdifferenz resultiert wohl aus dauernder Aktivität der Rechenreinigungsmaschine.

Aus obigem Diagramm ist ersichtlich, dass an die Spülprozesse ein beachtlicher Energieverlust gekoppelt ist. Die Quantifizierung dieser Energieverluste ist ein weiteres Kriterium für die Beurteilung des Verbesserungspotentials. Zur besseren Beurteilung der Leistungseinbussen sollten, wie beim obigen Beispiel im Kraftwerk Süssen (vgl. Fig. 2), Messungen ohne Spülvorgänge durchgeführt werden, um einen allfälligen Zusammenhang zwischen Verschmutzungsgrad (Anhäufung der Verschmutzung) und Leistungseinbusse zu erkennen.

Derzeit werden weitere Messsysteme zum besseren Verständnis der Verschmutzungsproblematik analysiert. Vorgesehen sind nebst der Indexwirkungsgradmessung Beschleunigungsmessungen direkt am Lagerkörper sowie diverse Strömungs-/Verschmutzungsvisualisierungen.

Auswertung Interview mit Herr Robert Schnider (KWKW Freienstein):

Am 11.11.2008 fand beim Besichtigungstermin des KWKW Freienstein die erste Befragung eines schweizerischen KWKW-Betreibers statt (vgl. WP 1 in Kap. Projektziele). Der vollständig ausgefüllte Fragebogen ist dem Anhang beigefügt. Nachfolgend die wichtigsten Erkenntnisse:

- Es treten das ganze Jahr gleichermassen Probleme mit der Verschmutzung auf.
- Die Anlage wird nicht nur durch Geschwemmsel (Laub, Geäst) sondern auch durch Fadenalgen und Zivilabfall verschmutzt. Auch kleineres Geschiebe (Steine) fliesst durch die Turbine (entsprechende Beobachtungen am Rechen -> eingeklemmte Steine).
- Das Spülprogramm kann von Herr Robert Schnider eigenständig angepasst/verstellt werden.
- Derzeit ist die 3. Variante eines Spülprogramms eingestellt. Es werden das Leit- und Laufrad für 1min. fast geschlossen und anschliessend für 30s das Laufrad voll geöffnet.
- Die Effizienz des Spülprogramms wird als sehr gut bezeichnet, da die ursprüngliche Leistung erreicht werden kann.
- Der Spülvorgang wird derzeit nicht nach einem definierten Spülkriterium ausgelöst. Der Spülintervall kann an einem Zeitrelais verstellt werden. Bei starkem Verschmutzungsanfall und qualitativer Situationseinschätzung des Betriebsverantwortlichen oder bei offensichtlichem Leistungsrückgang wird demnach der Spülintervall angepasst.
- Aus Sicht des Betriebsverantwortlichen wäre eine automatische Auslösung eines Spülprogrammes nach einer definierten Wirkungsgradeinbusse wünschenswert.

Die Interpretation des Interviews zeigt, dass das KWKW Freienstein für die Indexwirkungsgradmessung prädestiniert ist, da sich einerseits das Spülprogramm einfach anpassen lässt und andererseits die Verschmutzungsproblematik das ganze Jahr auftritt, wodurch flexible Zeitfenster resultieren für Parametervariationen. Aus diesem ersten Interview lässt sich zudem ableiten, dass der erarbeitete Fragebogen geeignet ist, um die Ganzheit bei der Verschmutzungsproblematik in einem KWKW zu erfassen und wird daher für die weiteren Befragungen im Frühjahr 2009 wiederverwendet.

Nationale Zusammenarbeit

Als nationaler Partner für die Untersuchung der Verschmutzung in Kleinwasserkraftanlagen konnte die toesStrom AG, Besitzerin des KWKW Freienstein, gewonnen werden. Das KWKW Freienstein leidet während des ganzen Jahres unter dem Einfluss der Verschmutzung.

Adresse: toesStrom AG
c/o EW Embrach
Dorfstrasse 83
8424 Embrach

Im November dieses Jahres ist eine erste Kontaktaufnahme zur Klärung der Messkampagne zwischen der HSLU und dem Verantwortlichen für den Betrieb des KWKW Freienstein, Herr Robert Schnider, zustande gekommen. Am 11.11.2008 fand eine Besichtigung/Inspektion der möglichen Messstellen für die Indexwirkungsgradmessung im KWKW Freienstein statt, wobei auch der beigefügte Fragebogen ausgefüllt werden konnte.

Kontakt: robert.schnider@ew-embrach.ch

Internationale Zusammenarbeit

Der internationale Partner ist das Institut für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen, Universität Stuttgart (IHS). Das IHS arbeitet bei seiner Forschungsarbeit, welche unter dem gleichen Namen läuft wie das vorliegende Projekt, mit dem Turbinenhersteller Stellba GmBH in Heidenheim, mit dem Beratungsbüro und Kraftwerksbetreiber Hutarew und Partner in Pforzheim sowie mit dem Kraftwerksbetreiber Grau Energie in Süssen zusammen.

Adresse: Institut für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 10
70569 Stuttgart

Kontakt: albert.ruprecht@ihs.uni-stuttgart.de

Die Kooperation mit dem IHS sieht vor allem vor, jährlich 2 – 3 Arbeitssitzungen abzuhalten wobei möglichst viel erarbeitetes Know-how ausgetauscht werden soll. Die letzte Sitzung fand am 24.11.2008 statt. Das IHS untersucht die Verschmutzungsproblematik unter anderem anhand numerischer Strömungssimulation. Diese Simulationen verlangen eine gründliche Aufarbeitung der Kraftwerksgeometrie. Da die Geometriedaten vom KWKW Freienstein zu einem früheren Zeitpunkt für das IHS zur Verfügung gestellt worden sind, werden vor allem für diese Anlage Simulationen aufgesetzt. Dies erlaubt eine optimale Kombination von messtechnischer Untersuchung seitens der HSLU mit den simulationsbasierten Auswertungen vom IHS für das KWKW Freienstein.

Bewertung 2008 und Ausblick 2009

Aufgrund Personalmangel resultiert bei der HSLU eine Zeitverzögerung von etwa einem halben Jahr zum ursprünglichen Zeitplan. Es wurde erkannt, dass der Projektablauf vor allem von der Indexwirkungsgradmessung im KWKW Freienstein gesteuert wird. Minimaler Betriebseinfluss und –aufwand stellt in der Zusammenarbeit zwischen dem KWKW Freienstein und der HSLU ein wichtiges Kriterium dar.

Unter dem Kapitel “Projektziele“ im vorliegenden Jahresbericht ist ein überarbeiteter Zeitplan und darin ein Antrag zur Verlängerung des Projektes integriert. Mit der Projektverlängerung sind keine weiteren Kosten verbunden. Es wird eine Verlängerung um 5 Monate vorgeschlagen, wonach der Termin für die Schlussberichtabgabe auf den 26.02.2010 fallen würde. Die Auszahlung von der letzten Tranche (10’000Fr.) würde ab Genehmigung jenes Berichtes beglichen werden.

Als Erfolg kann die Zusammenarbeit und der Austausch mit dem IHS bezeichnet werden. Es zeigte sich bei den Sitzungen am 28.05.2008 und 24.11.2008, dass die deutsche Kleinwasserkraftlandschaft im Raum Stuttgart bezüglich der Verschmutzung den gleichen technischen Problemen unterworfen ist, wie in der Schweiz.

Weiter konnte im Oktober und November 2008 die Messkampagne KWKW Freienstein angegangen werden. Einerseits sind die einzelnen Messstellen, bei einer Trockenlegung der Anlage am 11.11.2008, inspiziert sowie die benötigten Messgrössen definiert worden.

Das Jahr 2009 wird vor allem im Fokus der Indexwirkungsgradmessung im KWKW Freienstein und deren Auswertung und Interpretation stehen. Die effektive Messpunktaufnahme soll bis spätestens Ende März 2009 gestartet werden. Zusätzlich zu der Indexwirkungsgradmessung werden voraussichtlich weitere Instrumentierungen, insbesondere Beschleunigungsmessungen am Lagerkörper sowie Visualisierungen der Laufradströmung, realisiert. Begleitend zu diesen Messungen sollen während dem ersten Halbjahr 2009 Befragungen weiterer schweizerischer Kraftwerksbetreiber bezüglich der

Verschmutzungsproblematik durchgeführt werden. Ein Zwischenbericht speziell zu diesen Befragungen soll einen Querschnitt über die Verschmutzungsproblematik in der Schweiz aufzeigen.

Referenzen

[1] Zöller, A., Lippold, F., Schelle, R., Wider, D., Wiebrecht, S.: **Ertüchtigung der kleinen Wasserkraft für die Herausforderungen der Zukunft**, Studie, Stuttgart, Universität, 2005.

[2] Lang, T., Strobl, T., Nothhaft, S.: **Verluste bei der Anströmung von Wasserkraftanlagen**, Wasserwirtschaft, Jubiläumsheft – 90 Jahre, Vieweg, 2000.

[3] Ruprecht, A.: **Verschmutzung von Kleinturbinen – wie bringt man sie wieder sauber?**, 4. Seminar Kleinwasserkraft, Mitteilungen Nr. 27, Stuttgart, Universität, IHS, 2003.

[4] Demny G.J.W.: **Erschliessung der automatischen Strömungsoptimierung zur Lösung von Gestaltungsaufgaben im Wasserbau**, Dissertation, RWTH Aachen, 2004.

[5] Niederhäusern, A., Guggisberg, B.: **Tour d'horizon der Kleinwasserkraft**, Interview Bulletin SEV/VSE, 2/2008.

[6] Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETHZ: **Untersuchungen über den Einfluss der Geometrie und Anströmung von Einlaufrechen auf den Betrieb von Wasserkraftwerken**, Bericht Nr. 4109, Zürich, 1999.

[7] Ruprecht, A.: **Verschmutzung von Kleinwasserkraftanlagen**, Statusbericht, Stuttgart, Universität, Januar 2008.

Anhang

Als Anhang beigefügt ist der ausgefüllte Fragebogen, der zur Kategorisierung der Verschmutzungsproblematik in ausgewählten Kleinwasserkraftwerken eingesetzt wird. Einerseits soll gezeigt werden, was für Fragen ausgewählt wurden und andererseits soll an der Beantwortung durch Herr Robert Schnider die Problematik im KWKW Freienstein zusammengefasst werden. Dieser Fragebogen hat sich im Interview mit Herr Robert Schnider bewährt und wird für zukünftige Befragungen weiter verwendet:

1. Allgemeine Daten

- **Name der Anlage**

  KWKW Freienstein

- **Standort der Anlage**

  Freienstein - Teufen

- **Gewässername**

  Töss

- **Betreiber der Anlage (Kontaktdaten)**

  toesStrom AG
  robert.schnider@ew-embrach.ch

- **Kraftwerkstyp**

  Laufwasserkraftwerk, Buchtenkraftwerk mit Entnahmebauwerk [Betonschwelle (Geschiebeschwelle), Tauchwand (Geschwemmselschwelle), Rechen]

2. Technische Daten

- **Maschinentyp**

  Vertikalachsige Kaplanturbine

- **Hersteller**

  Wiegert & Bähr

- **Baujahr**

  2004

- **Regulierung**

  doppelt-reguliert (Verstellbare Leit- und Laufschaufeln)

- **Nennleistung**

  570kW, Maximalleistung 616kW

- **Nenndurchfluss**

  Ausbauwassermenge 12m^3/s

- **Nennfallhöhe**

  Nettofallhöhe 5.88m

- **Nenndrehzahl**

  3000/min / Polpaarzahl 11 = 272.737/min

- **Laufraddurchmesser**

  ?

- **Wirkungsgrad im Optimum (ist ein entsprechendes Diagramm einsehbar?)**

  Wirkungsgradgarantiedaten sind vorhanden und in Besitz der HSLU.

- **Generatortyp, Betriebsart, Getriebeart**

  Synchronbetrieb, Hersteller Bartoldi

3. Verschmutzung

- **Zu welchen Jahreszeiten treten Probleme mit der Verschmutzung auf?**

  Verschmutzung oder Geschwemmsel Anfall treten über das ganze Jahr auf (nicht nur im Herbst).

- **Durch was wird die Anlage verschmutzt?**

  Laub, Fadenalgen (im Sommer grösser), Äste, Plastiksäcke, Zivilabfall

- **Ist der Anlage ein Rechen vorgeschaltet? Gibt es eine Rechenreinigungsanlage?**

  Der Anlage ist ein Feinrechen mit einer Rechenreinigungsanlage vorgeschaltet.

- **Wie wird der Rechen reguliert? (manuell, automatisch, Zeitprogramm, Druckverlust)**

  Einerseits automatisch über die Druckverlustmessung über dem Rechen (wenn die Wasserstanddifferenz grösser 15cm wird). Andererseits kann der Rechen auch manuell gesteuert werden in dem Sinn, dass die Rechenreinigungsintervalle fest vorgeschrieben werden können (z.B. alle 1/4h einmal reinigen oder einmal am Tag usw.). Ein Rechenreinigungsintervall wird auch gestartet, wenn der Rechen aufgrund der Schwerkraft zu weit vom Endschalter entfernt ist.

- **Sind Spülprogramme vorhanden?**

  Ja.

- **Wie funktioniert dieses Spülprogramm?**

  Aktuelle Variante (seit Anfangs Oktober 2008):

  Regelbetrieb – Leit- und Laufrad auf 15% (bedeutet für Leitrad 1/5 Öffnung, für Laufrad effektiv 15%) für 30s – anschliessend Leitrad 75% (Achtung: ist volle Betriebsöffnung) und Laufrad 50% (effektiv) für 1min – Ende Spülvorgang – Regelbetrieb.
  (Der Regelbetrieb wird bei Laufwasserkraftwerken bestimmt durch den Oberwasserstand, den s.g. Oberwasserkonzessionspegel).

  Variante 1 (ursprüngliche Variante):

  Regelbetrieb – Leit- und Laufrad auf volle Öffnung – Ende Spülvorgang – Regelbetrieb.
  Problem: Bei Volllast gibt es keine Spülung, da Leit- und Laufrad ebenfalls voll offen sind.

  Variante 2:

  Regelbetrieb – Leit- und Laufrad auf 15% für 30s (siehe aktuelle Variante) – anschliessend Leit- und Laufrad auf volle Öffnung für 1min – Ende Spülvorgang – Regelbetrieb.
  Problem: Die Spülung war effektiv, da die ursprüngliche Leistung erreicht werden konnte. Aber es gab weiterhin akustische Probleme wonach die Spülung 3-4mal durchgeführt werden musste, bis die Akustik wiederum in Ordnung war.

- **Gibt es ein genaues Spülkriterium?**

  Nein, eine Automatik (z.B. Auslösung bei gewisser Differenzdruckänderung) gibt es nicht.

- **Wie wird gespült (z.B. von Hand oder nach einer gewissen Zeit)?**

  Gespült wird individuell je nach Geschwemmselstand beim Rechen. Das Intervall von Spülprogrammen kann manuell auf z.B. 4h oder alle 6h eingestellt werden.

- **Wie oft wird gespült?**

  Keine durchschnittlichen Angaben möglich – individuell je nach Geschwemmselstand. Auffallend ist die Tendenz, dass bei Volllast mehr gespült werden muss als bei Teillast (dies kann voraussichtlich durch den höheren Volumenstrom und daraus folgendem erhöhtem Geschwemmselmitzug erklärt werden).

- **Wo treten die Verschmutzungen auf?**

  Bei Inspektion ist nichts sichtbar, alles ist weggespült. Dies erfolgt durch den Abschaltvorgang und den daraus resultierenden Spülvorgang. Der Abschaltvorgang wird als effektives Spülprogramm angesehen.

- **Sieht man einen Verschmutzungsausstoss nach dem Spülvorgang?**

  Teilweise (es wird das Beispiel der “Maisstengel“ geschildert, wonach der Anlagenwart nach einem Spülvorgang im Unterwasser die austretenden Geschwemmsel gesehen hat).

- **Wie hoch sind die Wirkungsgradverluste?**

  Nach Angaben des Anlagenbetreibers vermutet er Wirkungsgradeinbussen von 10%.

- **Wie gross ist die Leistungseinbusse vor einem Spülvorgang und wird die volle Leistung nach dem Spülvorgang wiederum erreicht (ist eine Leistungskurve vorhanden)?**

  Im Schnitt wird eine Leistungseinbusse von 50kW beobachtet. Die volle Leistung wird nach einem oder mehreren Spülvorgängen wiederum erreicht.

- **Gibt es Schwall- oder Saugwasser Probleme wegen dem Spülvorgang?**

  Es können teilweise Schwallwasserprobleme entstehen, wenn der Spülvorgang bei Teillast durchgeführt wird (da im Spülprogramm während 1min fast voller Durchfluss gefahren wird).

- **Hätten Sie Vorschläge, für das die Verschmutzung nicht in die Anlage eintreten kann?**

  Nein, auch eine Kombination mit vorgeschaltetem Grobrechen wird nicht als reale Option gesehen.

- **Sind Sie mit Ihrem aktuellen Spülprogramm allgemein zufrieden?**

  Ja, aber besser wäre, wenn der Spülvorgang wirkungsgradgesteuert ausgelöst werden könnte. Die Effizienz des aktuellen Spülvorganges wird als sehr gut erachtet.

- **Kennen oder wünschen Sie sich ein anderes Spülungsprogramm?**

  Ja – wirkungsgradgesteuert.