

Stausee eines Speicherkraftwerks in den Alpen.



Foto: Jujou / pixelio.de

OBERFLÄCHEN FÜR LÄNGERE LEBENSDAUER UND HÖHERE ENERGIEEFFIZIENZ

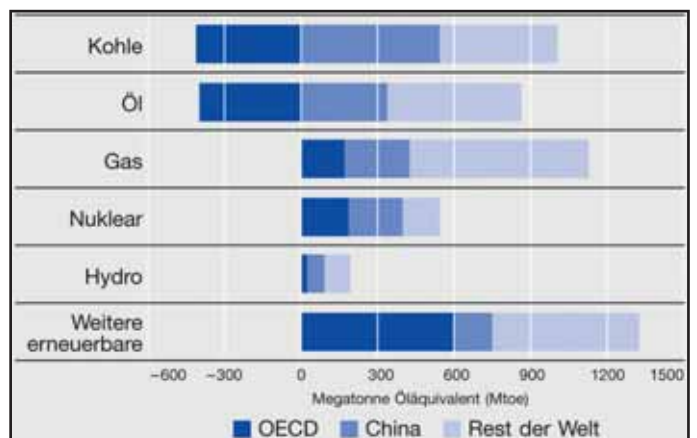
Wasserkraft liefert einen wichtigen Beitrag zum Ausbau der erneuerbaren Energien. Die Beschichtungen von Oerlikon Metco schützen viele Bauteile von Wasserturbinen vor Erosions- und Korrosionsschäden und leisten somit einen Beitrag für eine sichere, ökonomische und umweltfreundliche Energieversorgung.

Gemäß der Studie World Energy Outlook 2010 der International Energy Agency wird der Primärenergiebedarf der Welt 2035 um 35 % höher sein als 2008. Die Gründe sind die steigende Weltbevölkerungszahl und der zunehmende Wohlstand vor allem in den Schwellenländern. Der Anteil am Gesamtbedarf der unterschiedlichen Primärenergieträger wird sich jedoch verschieben. Die Studie sagt eine Erhöhung des Ölkonsums um ca. 20 % voraus, also deutlich unterdurchschnittlich.

Gas, Wasser und andere erneuerbare Energien werden in allen Ländern zunehmen [1]. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung wird von 19 % im Jahre 2008 auf 32 % im Jahre 2035 steigen. Nach der Nuklearkatastrophe in Fukushima im März 2011 und der Atom-Ausstiegserklärung von einigen führenden Industrienationen ist jedoch davon auszugehen, dass das Wachstum bei den erneuerbaren Energien noch wesentlich stärker sein wird als im Jahr 2010 vorausgesagt. Eine der umweltfreundlichsten Arten der Energiegewinnung stellt die Nutzung der Wasserkraft dar, wobei zwischen Laufwasser-, Speicher- (z.B. Talsperren) und Pumpspeicherkraftwerken unterschieden wird. Während die Laufwasserkraftwerke direkt in den Flusslauf integriert sind und ständig Energie erzeugen, dienen die Pumpspeicherkraftwerke auch der Energiespeicherung.

ZWISCHENLAGERUNG DER ENERGIE

Dieser Funktion kommt in der heutigen Zeit eine immer größere Bedeutung zu. So hat Deutschland heutzutage eine Pumpspeicherleistung von etwa 7 GW mit einer Nutzungsdauer von täglich 4–8



[1] Wachstum des Primärenergieverbrauchs nach Technologie von 2008 - 2035 (Quelle: OECD / IEA World Energy Outlook 2010)

Stunden installiert. Daraus ergibt sich eine beachtliche Gesamtspeicherkapazität von etwa 40 GWh. Weitere Projekte werden diese Kapazität in der Zukunft noch deutlich erhöhen. Ein weiterer Vorteil von Pumpspeicherkraftwerken ist, dass sie einen hohen Wirkungsgrad aufweisen, d.h., die überschüssige elektrische Energie kann mit einem Gesamtwirkungsgrad von 80 % zwischengelagert werden.

Je nach Art des Kraftwerkes bzw. der Turbinenbauart (Francis-, Kaplan- oder Pelton-turbine) [2] sowie den spezifischen Einsatzbedingungen (z.B. das Korrosionspotenzial und die Beladung des Wassers mit feinem Sand, Geröll und Steinen) werden die Kraftwerke – und hier insbesondere die Turbinen – unterschiedlich durch Erosion (Hydroabrasion; Flüssigkeitserosion und Kavitationserosion sowie Korrosion) belastet.

Das erste Wasserkraftwerk zur Stromgewinnung wurde 1880 im englischen Northumberland errichtet. Die hohe Beanspruchung der Schaufeln durch Korrosion und Erosion führte damals dazu, dass die Turbinen aus teurem hochlegierten Stahlguss hergestellt wurden. Unterscheiden sich die heutigen Kraftwerke inzwischen deutlich von dem im Northumberland und haben Hilfsmittel wie die Computermodellierung dazu beigetragen, den Anteil von Kavitation durch optimiertes Bauteildesign zu minimieren, so ist dennoch die Gesamtbelastung der Turbinenbauteile gestiegen.

Dies ist nicht zuletzt auf das Bestreben zurückzuführen, höhere Wirtschaftlichkeit zu erzielen, größere Fallhöhen auszunutzen, verstärkt Staustufen in schwer zugänglichen Gebirgsregionen, z.B. dem Himalaya oder in den Anden, auszubauen, schneller drehende kleine, aber auch große „Monster“-Turbinen und Kraftwerke an stark sand- und chemisch belasteten Flüssen zu bauen.

Da auch gleichzeitig die Erwartung an die Lebensdauer, den Abstand der Revisionszyklen und die über den Revisionszyklus erreichbaren höheren Wirkungsgrade ständig steigen, kommt dem Verschleißschutz der Kraftwerkskomponenten eine immer größere Bedeutung zu.

LÄNGERE LEBENSDAUER VON WASSERTURBINEN DURCH SCHICHTLÖSUNG VON OERLIKON METCO

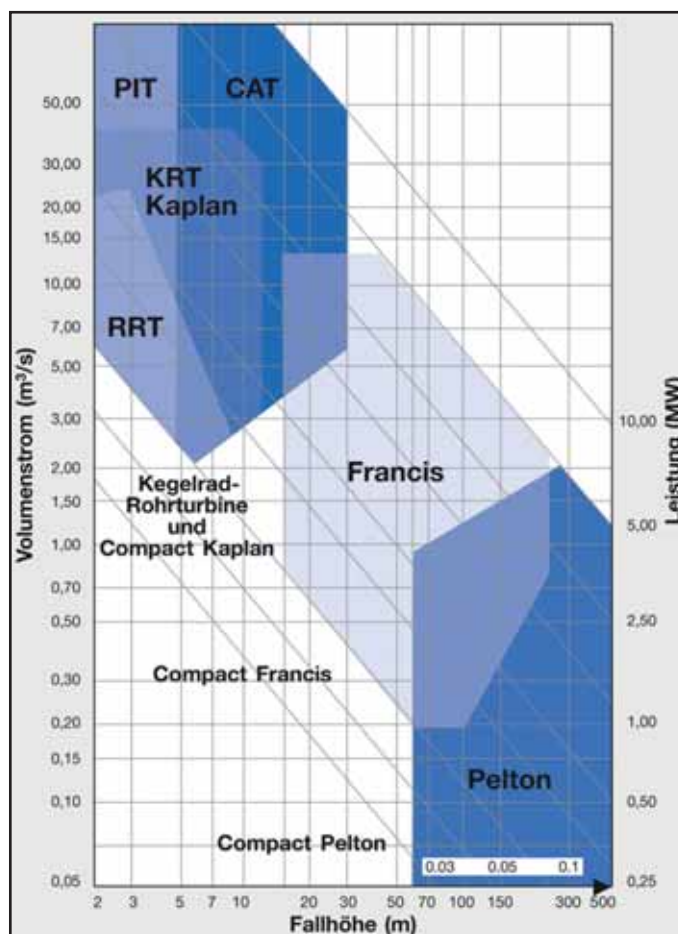
Der Name Metco ist seit langem eng mit dem Bereich der Wasserkraft verbunden. So wurden von Metco in den USA bereits in den 1930-er Jahren Stähle, Chromstähle, Bronze, Zink und Blei versuchsweise an Francislaufträtern zum «Kavitationstest» aufgebracht.

Auch in Deutschland und Österreich wurden in den 1960-ern, z.B. in den Inn-Kraftwerken, Versuche gegen Abrasion an Kaplanmaschinen mit Metcoloy 2 (13 % Chromstahl; Draht) durchgeführt und später mit Erfolg eingesetzt. Drahtflammspritzen wurde so im Turbinenbetrieb zur Standardtechnologie in der Anlagenerhaltung und wird seit dieser Zeit an fast allen Wasserturbinentypen mit Erfolg eingesetzt. Gegenüber dem bis dahin üblichen Auftragsschweißen hatte es vor allem die Vorteile einer wesentlich verkürzten Beschichtungszeit und einer geringeren Wärmebelastung des Grundwerkstoffes der Komponenten aufzuweisen.

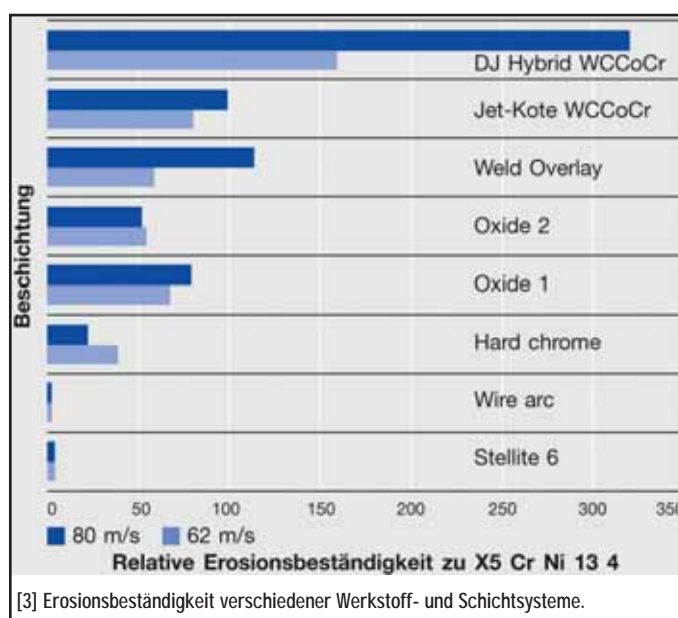
ERFOLGREICHE EINFÜHRUNG

Ende der 1980-er Jahre führte Metco die neue Hochgeschwindigkeits-Flammspritzenanlage Diamond Jet ein (HVOF). Durch ihre einfache Konstruktion war diese neue Technologie werkstattgerecht und für den täglichen Einsatz geeignet.

Erste Versuche an Schonhülsen waren sehr erfolgversprechend, und so erweiterte sich sehr schnell das Teilespektrum, auf welches z.B. Wolframkarbid-schichten vom Typ WCCoCr aufgespritzt wurde. Die erreichten Standzeiten übertrafen die kühnsten Erwartungen. So wurde der Materialabtrag um den Faktor 50 gegenüber einem Turbinenbau-



[2] Einsatzfelder von Wasserturbinen.
(Quelle: Katalog Sulzer Hydro / Sulzer Escher Wyss)



[3] Erosionsbeständigkeit verschiedener Werkstoff- und Schichtsysteme.

stahl (1.4313) vermindert. Der teilweise Übergang von den bis dahin üblichen extrem dicken Schichten (z.B. 10 mm dickes drahtflammspritztes Metcoloy 2) zu den wesentlich dünneren – allerdings auch wesentlich erosionsbeständigeren – HVOF-gespritzten karbidischen Schichten wurde dadurch eingeleitet. In [3] ist das Verschleißverhalten von verschiedenen Oberflächenbeschichtungen vergleichend dargestellt, wobei die dominante Position des Hochgeschwindigkeits-Flammspritzens (mit WCCoCr als Beschichtungsmaterial) deutlich wird.

BAHNBRECHENDE SCHICHTENTWICKLUNG

Nicht zu vergessen sind auch die bahnbrechenden Schichtentwicklungen und Modellierungsarbeiten, die in den 1990-er Jahren in diesem speziellen Anwendungsbereich erfolgten. Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung der Schicht Metco™Turb speziell für Kaplansturbinenschaufeln [5]. Diese Schicht vom Typ WCCoCr wird mit dem Oerlikon Metco-HVOF-Brenner Diamond Jet erzeugt, wobei die Schichtdicke bis zu 400 µm betragen kann.

Auch bei Francis- und Peltonsturbinen wird ein großer Teil der Wasser führenden Teile beschichtet. Einige Bauteile, wie z.B. Labyrinthdichtungen an Francismaschinen, werden dabei „spritzgerecht“ (geteilt) konstruiert. In der Mehrzahl der Einsatzfälle können die beschichteten Bauteile dann ohne weitere Nacharbeit eingesetzt werden.

BEWÄHRTE WERKSTOFFE

Abbildung [4] gibt einen Überblick über die häufigsten und üblicherweise eingesetzten Schichtsystem in den verschiedenen Wasserturbinen. Typische Oerlikon Metco-Standardwerkstoffe des Typs WCCoCr, die sich in diesem Bereich je nach Beanspruchung und konkretem Einsatzfall sowie gewählter HVOF-Anlage bewährt haben, sind Amdry 5843, Metco 5847, Woka 3652, Woka 3653 und Metco™Turb.

Trotz praktisch gleicher chemischer Zusammensetzung unterscheiden sich diese Werkstoffe durch Form, Morphologie, Korngrößenverteilung, Größe der Primärkarbide, Schüttdichte und damit von der Herstellung und den Herstell-Parametern und auch dem eingesetzten Ausgangsmaterial.

Diese Unterschiede machen sich in den Ergebnissen der Verschleißtests deutlich bemerkbar [6]. Allein durch die üblicherweise zur Qualitätssicherung herangezogene Schichthärte waren diese Unterschiede nicht zu erkennen.

Es wird ersichtlich, dass im Wasserturbinenbau heute praktisch nur noch das Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (nur in der Werkstatt; mit den Brennern Diamond Jet, WokaStar oder WokaJet) oder das Drahtflammspritzen (in der Werkstatt oder auch Vor-Ort-Beschichtung; mit den Spritzpistolen 14E oder 16E bzw. EGD-K) eingesetzt werden. Das Plasmaspritzen hat dagegen in diesem Bereich weitgehend an Bedeutung verloren (früher: Düsenadeln, Mundstücke und Francisturbinenteile).

UNTERSTÜTZENDE ENTWICKLUNG

Eine generelle Empfehlung von Schichtlösungen kann es ohne genaue Analyse des

Kaplanturbine			
Bauteil	Beschichtungsbereich	Schicht	Beanspruchung
Laufgradmantel	zwischen Leitschaufelring über Kugelbereich bis zum Saugrohr	• Drahtflammspritzen / 15 mm Metcoloy 2	Erosionsverschleiß (Hydro-Abrasion; Flüssigkeitserosion)
Kaplanflügel	Teilbereiche bzw. ganzer Flügel	• HVOF / 0,4 mm WCCoCr • Drahtflammspritzen / 5 mm Metcoloy 2	
Leitschaufelring	Planfläche über Radius bis Laufgradmantel	• Drahtflammspritzen / 5 mm Metcoloy 2	
Schonbüchse	2-teilige Dichtungselemente	• HVOF / 0,3 mm WCCoCr • Drahtflammspritzen / Metcoloy 2	Dichtungsbereich, Abrasionsverschleiß
Radiallager	Neufertigung und Reparatur	• Drahtflammspritzen / Sprababbitt A	Gleitverschleiß
Kurbel	Gleitlagerbereich	• Drahtflammspritzen / Sprasteel-LS	
Kurbelzapfen	Gleitlagerbereich	• Drahtflammspritzen / Sprasteel-LS	
Francisturbine			
Schutzwand	kompl. über Leitschaufelbohrungen	HVOF / WCCoCr	Erosionsverschleiß (Hydro-Abrasion; Flüssigkeitserosion)
Leitschaufel	Blatt komplett, auch Teller und Stirnseiten bis Dichtung		
Turbinendeckel	Spalt- und Labyrinthbereich, Bereich der Verschleißringe		
Laufgrad	Spalt und Labyrinthbereich, Schaufel-Wassereintrittskanten		
Peltonurbine			
Peltonbecher	Innenseite und über Nebenschneiden	HVOF / WCCoCr	Erosionsverschleiß (Hydro-Abrasion; Flüssigkeitserosion)
Düsenadel	Verschleißbereich bis Anzugsbohrungen	• HVOF / WCCoCr • Plasma / Cr ₂ O ₃	Gleitverschleiß
Nadelführung	Verstellbereich	Drahtflammspritzen / Metcoloy 2 / Sprabronze	
Mundstücke	Gesamte Innenkontur	HVOF / WCCoCr	
Mundstück Einsatzring	Verschleißbereich		
Strahlabweiser	Verschleißbereich		
Strahldach	Verschleißbereich		

[4] Auswahl der wichtigsten Anwendungen für thermisch gespritzte Schichten im Wasserturbinenbau.

konkreten Einsatzfalles - wie bei den meisten Maschinenbauteilen - nicht geben. In Abhängigkeit vom Design der Maschine, von der konkreten Betriebsweise und den spezifischen Betriebsbedingungen können starke

Unterschiede in den jeweiligen dominanten und sich überlagernden Beanspruchungsmechanismen vorherrschen. Dabei kann es im ungünstigsten Fall auch dazu kommen, dass sich Beanspruchungen gegenseitig verstär-

ken. Im Allgemeinen kann aber davon ausgegangen werden, dass der Verschleiß durch Hydro-Abrasion, Korrosion und Kavitation mit der Strömungsgeschwindigkeit, dem Feststoffgehalt und dem Korrosionspotenzial der Flüssigkeit zunimmt. Da der Verschleiß im Betrieb jedoch von weiteren Faktoren wie der Größe, der Form und der Härte der Feststoffpartikel abhängt, können spezifische Grenzen für einzelne Werkstoffe nicht angegeben werden. Weil das Verschleißverhalten eines Werkstoffs nicht mithilfe seiner einfachen physikalischen und mechanischen Kenngrößen wie Härte, E-Modul oder Zugfestigkeit vorhergesagt werden kann, ist die Durchführung spezieller Verschleißtests notwendig. Während phänomenologische Tests eingesetzt werden, um das grundlegende Verschleißverhalten eines Werkstoffs unter klar definierten Belastungen zu bestimmen, werden anwendungsspezifische Tests bereits auf Komponenten und konkrete Einsatzfälle ausgelegt. Die Ergebnisse dieser Versuche können in der Regel direkt in eine Anwendung übergeführt werden¹.

PRÜFSTÄNDE FÜR SCHICHTENTWICKLUNG

Oerlikon Metco ist mit Prüfständen sowohl für die phänomenologischen Untersuchungen als auch für die kunden- und anwendungsspezifische Schichtentwicklung voll ausgestattet. Im Einzelnen stehen derzeit folgende Prüfstände zur Verfügung:

- **Kavitations-/Erosionsprüfstand**
(gemäß ASTM G32-03)
- **Abrasionsprüfstand gemäß ASTM G65**
(dry sand rubber wheel)
- **Abrasions-/Korrosionsprüfstand**
(modifizierter ASTM-G65-Test)
- **Salzprühtest gemäß ASTM B117**;
auch geeignet für ASTM G85, B368, G43, D2247
- **Prüfstand für Stromdichte-Potenzialmessungen**
- **GE-Erosionstest (GE50TF121)**
- **Taber Abraser gemäß ASTM G75**
- **2-Körper-Block-auf-Ring-Test**
(Verschleißverhalten von Reibpaarungen unter Gleitreibung)
- **Wasserstrahl-Erosions-Test**

Oerlikon Metco bietet seine Fachkompetenz sowie die oben genannten Prüfstände an, um kundenspezifische Applikationen zu entwickeln. Hier kann z.B. festgestellt werden, welche der zur Verfügung stehenden Schichtsysteme für eine gegebene Beanspruchung am besten geeignet ist. Um z.B. speziell das Kavitationsverhalten einer HVOF-gespritzten Schicht beurteilen zu können, wird bei Oerlikon Metco ein spezieller Kavitationsprüfstand eingesetzt [7].

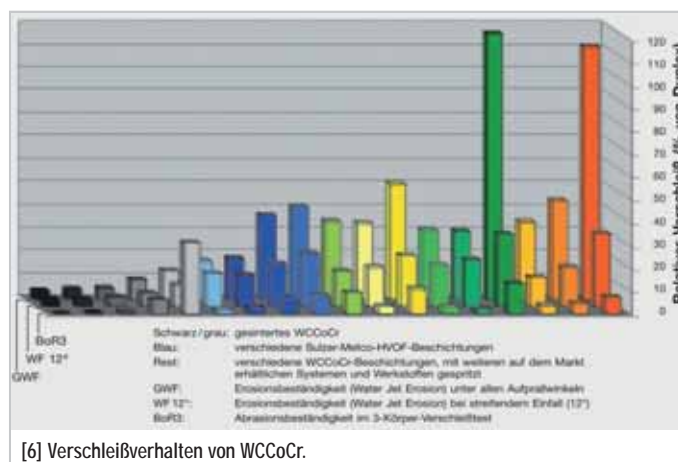
Oerlikon Metco bietet seinen Kunden in enger und vertraulicher Zusammenarbeit an, aus einer ganzen Anzahl von bereits existierenden Schichten die beste Lösung auszuwählen bzw. eine vorhandene Schicht aufgrund spezieller Anforderungen in der Turbine gemeinsam weiter zu entwickeln.

KONTAKT: Oerlikon Metco AG, Wohlen
Rigackerstrasse 16
CH-5610 Wohlen
Tel. +41 56 618 81 81
www.oerlikon.com/metco

LITERATURHINWEIS: 1 Kränzler, Thomas: Sicherstellung der Produktqualität durch maßgeschneiderte Materialtests – Klassifizierung von Werkstoffen. Sulzer Technical Review 1/2010



[5] Schaufel einer Kaplanturbine, beschichtet mit SIME™ Turb von Oerlikon Metco.



[6] Verschleißverhalten von WCCoCr.



[7] Kavitationsprüfstand bei Oerlikon Metco.



Thermisch gespritzte Schichten gegen Verschleiß und Korrosion in Wasserkraftwerken

Ob Kaplanflügel, Laufradmantel, Leitschaufel oder Peltonbecher – fortschrittliche Beschichtungslösungen von Oerlikon Metco vermindern den Verschleiß von Komponenten in Wasserkraftwerken erheblich:

- beachtliche Verlängerung der Komponenten-Laufzeit
- deutliche Senkung der Unterhaltskosten
- hoher Wirkungsgrad über die gesamte Laufzeit

