

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	92 (2001)
<b>Heft:</b>	2
<b>Artikel:</b>	Refurbishment in Wasserkraftwerken
<b>Autor:</b>	Kofler, Wolfgang
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-855660">https://doi.org/10.5169/seals-855660</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Refurbishment in Wasserkraftwerken

## Sanierungs- und Erneuerungsprojekte mit strukturiertem Stufenkonzept

Mit dem Alter von Wasserkraftwerken steigt sowohl Anlagenrisiko als auch der Wartungs- und Instandsetzungsaufwand kontinuierlich. Da Sanierungs- oder Erneuerungsmassnahmen mit zusätzlichem Investitionsaufwand verbunden sind, werden Entscheidungen dazu meist möglichst lange hinausgeschoben. Der vorliegende Artikel zeigt einen systematischen und strukturierten Zugang zu «Refurbishmentprojekten», mit Hilfe dessen nicht nur die technischen, sondern auch betriebliche und Risikoaspekte berücksichtigt werden können. Aufgrund von konkreten Erfahrungen kann nachgewiesen werden, dass mit Hilfe eines detailliert überlegten Konzepts die Gesamtwirtschaftlichkeit eines Wasserkraftwerkes trotz erforderlicher Investitionen nicht nur gehalten, sondern sogar noch erhöht werden kann.

■ Wolfgang Kofler

### Stromerzeugung ausschliesslich aus regenerativer Wasserkraft

Die TIWAG – Tiroler Wasserkraftwerke AG – ist ein österreichisches Landesversorgungsunternehmen im Bundesland Tirol. Der Versorgungsbereich des Unternehmens umfasst rund zwei Drittel des Gebietes von Nord- und Osttirol. Die Erzeugung der elektrischen Energie erfolgt ausschliesslich aus regenerativer Wasserkraft. Die installierte Leistung aller Anlagen beträgt 1511 MW, die jährliche Erzeugung rund 3000 GWh. Die Stromaufbringung im Versorgungsgebiet übersteigt mit etwa 6500 GWh den eigenen Erzeugungsanteil beträchtlich und erfolgt zum Teil durch Zukauf oder durch Abtausch von eigenerzeugter Spitzenenergie gegen Grundlastlieferungen aus Deutschland.

Die Stromerzeugung erfolgt in Wasserkraftwerken unterschiedlichster Bau-

art und Grösse. Die Palette der Anlagen reicht von Kleinkraftwerken mit wenigen hundert Kilowatt bis zu den Grosskraftwerken der Kraftwerksguppe Sellrain-Silz mit 781 MW. Die TIWAG ist da-

über hinaus auch zertifiziertes Verbundunternehmen und betreibt Stromhandel mit namhaften anderen europäischen Energieversorgungsunternehmen. Für den Transport und die Verteilung der elektrischen Energie steht ein leistungsfähiges Netz von 220 kV, 110 kV, Mittelspannung bis Niederspannung zur Verfügung.

Sowohl Planung und Errichtung der Kraftwerks- und Netzanlagen als auch deren Betriebsführung und Instandhaltung werden seit jeher mit firmeneigentlichem Personal durchgeführt. So haben sich kontinuierlich spezialisierte und erfahrene Ingenieurteams entwickelt, welche sämtliche technischen Disziplinen rund um Neubau-, aber auch Sanierungs- und Erneuerungsprojekte, abdecken.

Durch die ständige Zusammenarbeit und Unterstützung der betriebsführenden Bereiche steht neben dem reinen Ingenieurswissen auch ein hohes Mass an Erfahrung hinsichtlich Betrieb und Instandhaltung zur Verfügung. Diese Erfahrung wird systematisch und kontinuierlich erfasst und bildet somit eine



#### Adresse des Autors

Dipl.-Ing. Wolfgang Kofler  
Leiter des Geschäftsfeldes Kraftwerkstechnik  
TIWAG – Tiroler Wasserkraftwerke AG  
Eduard-Wallnöferplatz 2  
A-6020 Innsbruck

# Erneuerung Wasserkraft

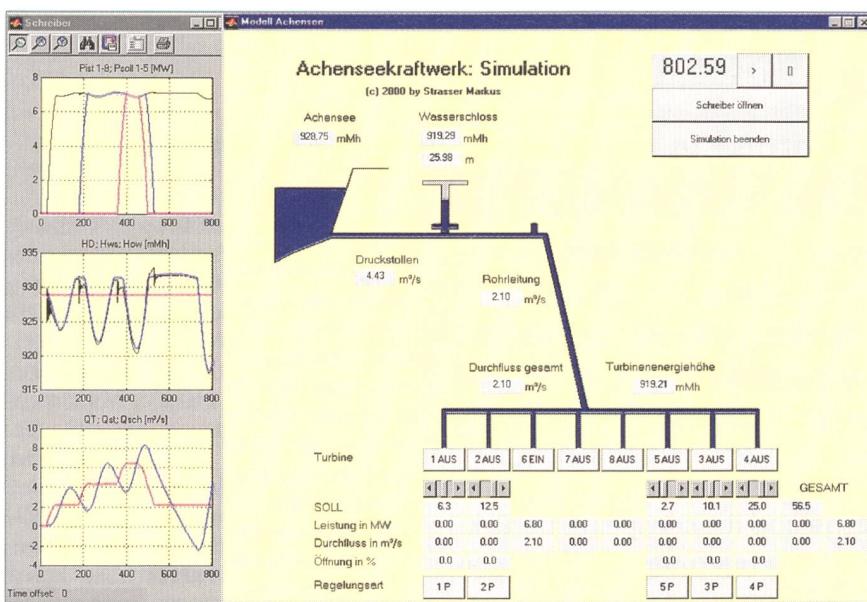


Bild 1 Simulation des hydraulischen Systems (Modell für das Achenseekraftwerk).

sehr wichtige zusätzliche Planungsgrundlage.

Neben dem Kraftwerksneubau werden seit etwa zehn Jahren in stark steigendem Umfang Sanierungs- und Erneuerungsprojekte in Wasserkraftanlagen bearbeitet, so dass diese Sparte mittlerweile den Schwerpunkt der Planungstätigkeiten im Kraftwerksbereich darstellt. Die Spannweite der Aufgaben reicht von relativ einfachen Reparaturen über Sanierungen bis hin zu grossen Teilerneuerungs- und Umbauvorhaben, welche insgesamt unter dem Sammelbegriff «Refurbishment» zusammengefasst werden.

## Wie entstehen «Refurbishmentprojekte»?

Die Instandhaltung in Wasserkraftwerken erfolgt heute meist zustandsorientiert, selten rein anlassbezogen. Die Kosten hießen steigen mit zunehmendem Anlagenalter naturgemäss kontinuierlich an. Gleichzeitig ändern sich marktbedingt die Erfordernisse hinsichtlich Verfügbarkeit, Betriebseinsatz, Regelverhalten, behördlichen Auflagen usw. Alle diese Aspekte sowie klarerweise die sich gerade zurzeit stark ändernden Erlöse bestimmen die Wirtschaftlichkeit einer Kraftwerksanlage.

Da besonders die kapitalintensiven Wasserkraftanlagen langfristig zu betrachten sind, ist eine möglichst exakte Erfassung aller Kostenkomponenten sowie eine gut fundierte Extrapolation dieser Zahlen in Zukunft eine wesentliche Basis für die Beurteilung der Anlagenwirtschaftlichkeit. Ein erstes Indiz für die mögliche Sinnhaftigkeit gezielter Sanie-

rungs- oder Erneuerungsmassnahmen ist zunächst ein gegenwärtiger oder prognostizierter Anstieg der spezifischen Erzeugungskosten.

Um nun wirklich die technisch und wirtschaftlich beste Entscheidung zu treffen, ist an dieser Stelle die Durchführung einer systematisch aufgebauten Untersuchung im Rahmen eines strukturierten «Refurbishmentprojekts» zu empfehlen.

Zunächst ist festzustellen, dass die grundsätzliche Vorgangsweise in einem Refurbishmentprojekt, unabhängig von der Anlagenart und Grösse, in einer dreistufigen Form durchgeführt wird. Natürlich muss auf technische und wirtschaftliche Besonderheiten Rücksicht genommen werden, auch wird sich selbstverständlich sowohl Umfang als auch Tiefe der Untersuchungen an einer grossen Anlage wesentlich von der an einem Kleinwasserkraftwerk unterscheiden.

## Wie ist ein strukturiertes Refurbishmentprojekt aufgebaut?

### Erste Stufe: Bestandsaufnahme

Zuerst ist eine möglichst umfassende und exakte Bestandsaufnahme und Zustandsbeurteilung der Kraftwerksanlage durchzuführen.

In einem ersten Schritt erfolgt eine Anlagenbegehung mit Aufnahme aller relevanten Daten sowie Sichtung der Betriebsprotokolle sowie der Unterlagen zu durchgeföhrten Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten. Von wesentlicher Bedeutung sind dazu die Erfahrungen des Betreibers.

Fehlende oder ungenaue Daten werden von uns mit Hilfe von Betriebs- und Anlagenmessungen erhoben. Neben der rein technischen Zustandserfassung werden auch die relevanten wirtschaftlichen Kennzahlen ermittelt. Erst die Kenntnis und Bewertung aller wichtigen Einflussfaktoren bietet eine solide Grundlage für die folgenden Variantenstudien.

In diesem Zusammenhang werden im Anhang dieses Berichtes beispielhaft die Anlagenmesstechnik (siehe Anhang 1) und die Simulationstechnik (Anhang 2) beschrieben.

### Zweite Stufe: Variantenstudien

Das Ergebnis der Bestandsaufnahme und die strategischen Randbedingungen des Anlagenbetreibers sind die Basis für das Refurbishmentkonzept. Da sich in der Regel mehrere in Art und Umfang unterschiedliche Konzepte zur Ausführung anbieten, werden verschiedene Sanierungsvorschläge in Form von Variantenstudien ausgearbeitet.

Durch Beurteilung von Technik und Kosten, der Anlagen- und Personensicherheit, des Effekts von möglichen Verbesserungen und den voraussichtlichen zukünftigen Folgeaufwendungen ist es möglich, durch Vergleichsrechnung die wirtschaftlich und technisch günstigste Refurbishmentvariante zu ermitteln. Dabei fließen sowohl die langjährigen, gut dokumentierten Erfahrungen mit unseren eigenen Kraftwerken als auch die Informationen aus vergleichbaren Anlagen anderer Betreiber direkt ein.

Konkret werden auch hier sich aus der jeweiligen Refurbishmentvariante ergebende Annuitäten

- für Anlagenbetreuung und Instandhaltung,
- der Mehrerlöse durch Leistungserhöhung bzw. Wirkungsgradoptimierung sowie
- der fiktiven Minderkosten für abnehmenden Verschleiss und geringeres Anlagenrisiko der sanierten Anlagen mit Hilfe der Kapitalwertrechnung bewertet.

Die Ergebnisse der Rechnung sind meist mehrfach interessant:

- Die Variante mit den niedrigsten Investitionskosten ist nur selten am gesamtwirtschaftlich günstigsten
- Sanierungs- oder Erneuerungsvarianten können im Vergleich mit der fiktiven «Nullvariante» (nichts tun bzw. so weiter betreiben) auf mittlere Sicht sogar positive Barwerte ergeben
- Die Bewertung der Betriebs- und Instandhaltungskosten geben zusätzlich

gute Grundlagen für Entscheidungen zu Organisations- und Personalfragen.

Nach Abstimmung der Bewertungen mit dem Anlagenbetreiber steht die Basis für die Entscheidung zur Projektdurchführung auf guten Beinen. Der zu erwartende Gesamterfolg eines Refurbishmentprojekts lässt sich mit Hilfe dieser Methode ganz konkret in Form von Zahlen ausdrücken.

Beispielhaft werden im Anhang zwei Teilkomponenten des Bewertungsmodells näher vorgestellt. Anhang 3 zeigt anhand einer Beispielrechnung die Auswirkungen der möglichen Reduktion des Instandhaltungsaufwandes, Anhang 4 eine Beschreibung unserer gesamthaften Methodik zur Ermittlung und Durchführung der optimalen Strategie bei der Instandhaltung von Peltonlaufrädern. Diese Methodik wird, da sie sämtliche für die langfristige Laufradinstandhaltung relevanten technischen und betrieblichen Kriterien enthält, «TIWAG-Laufradmanagement» genannt.

## Dritte Stufe: Durchführung des Refurbishmentprojekts

Refurbishmentprojekte verlangen im Vergleich zu Neubauprojekten eine wesentlich detailliertere Planung sowie ein gut durchdachtes Termin- und Kostenmanagement.

Die Reihung und Koordinierung der Abläufe hängt stark vom gegenständlichen Projekt ab, weshalb nicht mit Standardplänen gearbeitet werden kann. Abhängig von Art und Umfang des Projektes werden ein zusammenfassender Bauzeitplan sowie verschiedene untergelagerte Komponententerminpläne für die verschiedenen Baulose, die hydraulischen und elektromaschinellen Haupt- und Nebeneinrichtungen, den Energieabtransport usw. erstellt. Zugleich werden auch die Kostenpläne erarbeitet, damit kontinuierliche Kontrollen und erforderlichenfalls Korrekturen vorgenommen werden können.

Ein besonderer Punkt der Ablaufplanung besteht in der Vorbereitung und Koordinierung der Inbetriebsetzungen. Auch hier ist ein detaillierter Termin- und Ablaufplan von besonderer Bedeutung. Jeder Tag, der durch eine gut durchdachte Ablaufplanung gespart werden kann, bringt zusätzliche Erzeugungserlöse, welche die dafür notwendigen Planungsaufwendungen in der Regel bei weitem übersteigen.

Mit Hilfe dieser Methoden ist es möglich, trotz aller Unsicherheiten und Unwägbarkeiten, welche in Sanierungs- und

Erneuerungsprojekten stecken, extrem kurze Ausserbetriebsnahmzeiten des Maschinensatzes bzw. des Kraftwerks zu erreichen. Beispielsweise gelang es damit in einem vor einem Jahr fertiggestellten Teilerneuerungsprojekt, die Ausserbetriebsnahmedauer für die Sanierung und Teilerneuerung eines 40-MVA-Maschinensatzes auf knapp 3,5 Monate zu drücken.

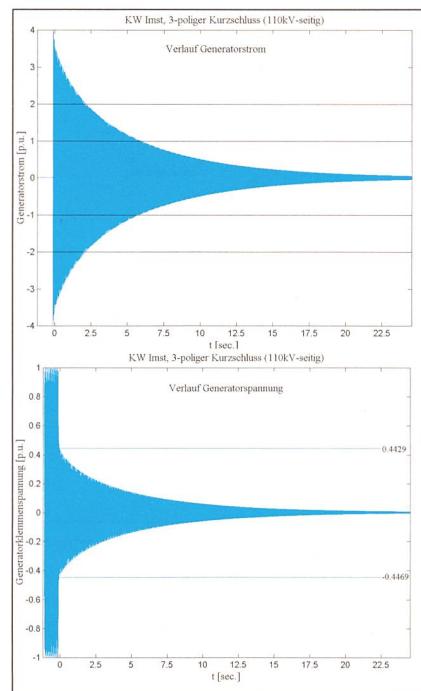
## Anhang 1: Anlagenmesstechnik

Als wichtigen Teil der Bestandsaufnahme können folgende Messungen durchgeführt werden:

- Hydraulische Größen: Druck, Durchfluss im Triebwasserweg, im Öl-, Wasser- oder Luftkreis von Nebenanlagen
- Elektrische Größen: Strom, Spannung, Leistung mit Präzisionsmessgeräten, quasistatisch oder transient
- Mechanische Größen: Längen- und Nivelliermessung (Maschinenvermessung), Schwingung, Schall, Luftmenge.

Der Aufbau unseres Messsystems ist für die Erfassung aller genannten Größen ausgelegt, wobei als Messaufnehmer und -umformer Präzisionsgeräte mit einem weiten Messbereich zur Verfügung stehen. Die Messungen werden vielfach erfasst und abgespeichert. Die zeitliche Auflösung der Messdaten einerseits, die Gesamtduer der Messreihen andererseits sind in weiten Grenzen frei wählbar. Es können damit sowohl schnelle Vorgänge ( $> 100 \text{ Hz}$ ) als auch sich langsam ändernde Größen effizient erfasst werden. Für Fernmessungen über eine längere Zeit, welche besonders bei der Bestandsaufnahme hydraulischer Daten von Interesse sein kann, setzen wir Datenlogger ein. Mit Hilfe dieser Datenlogger werden die verschiedenen Messwerte vor Ort gesammelt, verdichtet und über Postleitungen oder Internet ins Büro übertragen, wo sie dann mit Hilfe geeigneter Software (DasyLab, Matlab, Excel usw.) der jeweiligen Problemstellung entsprechend ausgewertet werden. Durch den offenen und sehr flexibel wählbaren Aufbau der Messeinrichtungen und Auswertungen können sehr unterschiedliche Aufgabenstellungen abgedeckt werden, wie die folgende beispielhafte Auswahl von kürzlich ausgeführten Projekten zeigt:

- Durchflussmessung Überleitung Weisssee, Enzingerboden, Rohrleitung Grüne-see – Durchflussmessungen



**Bild 2 Kraftwerk Imst: Verlauf von Generatorstrom und Generatorenspannung bei dreipoligem Kurzschluss (netzseitig).**

- Wasserkraftwerk Urgbach – Überprüfungsmessung von Entsandungs- und Entlaubungseinrichtungen
- Pumpwerk Glaurachbach – Leistungsmessung der Pumpen, Betriebsmessung
- Deponiekraftwerk Grasloden – Überprüfungsmessungen betreffend Regelung des Abgasmotors
- Messungen an einem Hydrationswärmegerät in der akkreditierten Baustoffprüfstelle Ötztal
- Messungen in den Wasserkraftwerken Kaunertal, Imst, Brennerwerk usw. für die Parameterbestimmung zur Leistungsregelung, Drehzahlregelung, Wirkungsgrad, Pegelregelung, Druckstoss, Wasserschlossschwingung.

## Anhang 2: Simulationstechnik

Im Rahmen von konkreten Projekten und Aufgabenstellungen im Wasserkraftbereich haben wir Simulationsmodelle entwickelt, welche sämtliche Komponenten, beginnend mit dem hydraulisch/mechanischen System bis zum elektrischen System im Wasserkraftwerk, umfänglich abdecken.

### Mechanisch/hydraulisches Simulationsmodell

Beispielhaft für die Simulation des hydraulischen Systems zeigt Bild 1 das Modell für das Achenseekraftwerk mit

## Erneuerung Wasserkraft

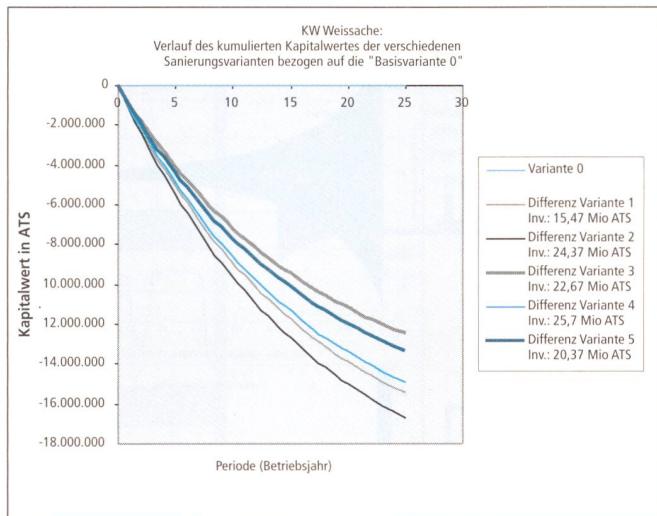


Bild 3 Verlauf des kumulierten Kapitalwertes der verschiedenen Sanierungsvarianten, bezogen auf die «Basisvariante 0».

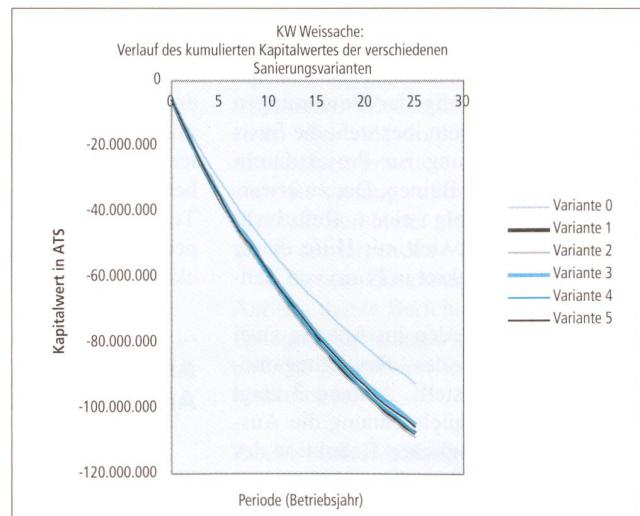


Bild 4 Verlauf des kumulierten Kapitalwertes der verschiedenen Sanierungsvarianten.

Triebwasserweg, acht Turbinen und Turbinenregler. Es enthält folgende Komponenten:

- Oberwasser mit variablem Zufluss und beliebiger Querschnittsfläche
- Druckstollen starr, Medium inkompressibel, mit Reibungsverlusten
- Druckrohrleitung, elastisch, Medium kompressibel, mit Reibungsverlusten
- Wasserschloss mit und ohne Drossel, mit beliebigen Querschnitten
- Turbine mit Durchfluss- und Momentenfeld, mit Düse/Leitapparat oder Leitapparat und Laufrad
- Turbinenregler für Leistung, Drehzahl, Pegel oder Öffnung; mit PID-Verhalten, inklusive Vorsteuer-Kennlinie, für Einfach- oder Doppelregelung.

Das Simulationsmodell ist in erster Linie ein sehr wichtiges Instrument, das Regelverhalten von Wasserkraftwerken mit dessen Möglichkeiten und Grenzen zu ermitteln. Im gegenständlichen Fall waren die Erkenntnisse aus den Simulationsrechnungen eine wichtige Grundlage für den Einsatz des Kraftwerks im Regelbetrieb sowie für die Identifikation von ungünstigen und sogar unzulässigen Betriebszuständen. Ebenfalls konnten damit sehr wesentliche, aber sonst nur sehr aufwändig durchführbare Inselbetriebs- oder Netzaufbauversuche einfach, gefahrlos und kostengünstig durchgeführt werden. Bild 1 zeigt die gute Übereinstimmung der gerechneten mit den gemessenen Werten der Kraftwerksanlage.

### Elektrisches Simulationsmodell

Im elektrischen Simulationsmodell wird der Synchrongenerator im Programm MATHLAB/SIMULINK gemäß der Zweiachsentheorie abgebildet. Zu-

sätzlich sind die Komponenten Spannungsregler, Netz und vereinfachtes mechanisches System im Modell enthalten.

Für die mitunter sehr schwierige Bestimmung der Maschinenparameter wurde eine Vorgangsweise entwickelt, welche auch bei Vorhandensein von sehr wenigen Generatordaten eine gute Abbildung des Betriebsverhaltens erlaubt.

Wesentliche Informationen liefern die Simulationsrechnungen für die Dimensionierung von Erregungseinrichtungen, Parametrierung von Schutzorganen, Berechnung von Ableitungssystemen und Beurteilung von Netzrückwirkungen im Störungsfall. Es können mit Hilfe des Modells sämtliche gängigen transienten Vorgänge an Generatoren simuliert werden, wie generatornaher Kurzschluss, Regelvorgänge im Netz- oder Inselbetrieb, Stabilität und Spannungsregelverhalten.

Bild 2 zeigt beispielhaft den simulierten Verlauf von Generatorkurzschlussstrom und -spannung bei einem 3-poligen Kurzschluss (an der Oberspannungsseite des Maschinentransformators) eines 40-MVA-Generators im Kraftwerk Imst. Die Speisung des Polrades erfolgt in diesem Fall über eine statische Erregungseinrichtung im Nebenschluss (Stossfaktor 2,5). Diese Berechnung ist für die Auslegung von Schutzeinrichtungen notwendig.

### Anhang 3: Wirtschaftlichkeitsrechnung

TIWAG wurde beauftragt, für ein Kleinwasserkraftwerk mit drei Maschinen bei einer Engpassleistung von 2,7 MW eine Studie zur Revitalisierung auszuarbeiten. Gegenstand der Studie war das

gesamte Kraftwerk mit den elektrischen Anlagen, Steuerung, Schutz, Maschinen und Triebwasserweg.

Da insbesondere im Bereich der Wehranlage beträchtliche betriebliche Mängel bestanden und die drei Maschinensätze in Bauart und Zustand sehr unterschiedlich waren, bot sich eine relativ breite Palette von verschiedenen Refurbishmentmöglichkeiten.

Nach Durchführung einer gründlichen und umfassenden Bestandsaufnahme wurde eine Variantenstudie für die folgenden fünf Varianten der Generalsanierung und Automatisierung des Kraftwerks durchgeführt:

- Sanierung von Maschine 1 und Maschine 3; Stilllegung von Maschine 2
- Sanierung von Maschine 1 und Maschine 3; Erneuerung von Maschine 2
- Sanierung von Maschine 1; Erneuerung von Maschine 2 (Diagonal-turbine); Stilllegung von Maschine 3
- Sanierung von Maschine 1 und Maschine 3; Erneuerung von Maschine 2 (Diagonalturbine)
- Ersatz aller drei bestehenden Maschinen durch einen neuen Maschinensatz.

Den verschiedenen Varianten entsprechend, wurden jeweils die komplette Sanierung und Automatisierung der Wehranlage, die Erneuerung der elektrischen Anlagen bis zur Mittelspannungsschaltanlage und die Automatisierung der Maschinensätze in die Variantenstudie aufgenommen.

Im ersten Schritt werden lediglich die Investitionskosten und die Mehrerlöse infolge Wirkungsgradverbesserung berücksichtigt. Es ergeben sich für die verschiedenen Varianten die in Bild 3 dargestellten Kapitalwertverläufe. Als Bezug wurde die so genannte «Nullvariante»,

gleichbedeutend mit dem Weiterbetrieb der Anlage wie bisher, herangezogen. Naturgemäß sind die Kapitalwerte der fünf Varianten negativ, da durch die reine Mehrerzeugung die Investitionskosten niemals hereingespielt werden können. Wie erkennbar, wäre aufgrund dieser Vergleichsrechnung die Variante 3 die wirtschaftlichste Lösung.

Im zweiten Schritt werden zusätzlich der durch die Sanierungen erzielbare Vorteil hinsichtlich Personal- und Instandsetzungsaufwand sowie die Auswirkungen der Automatisierung und Verbesserung der Sicherheit beurteilt.

Dies erfolgte in diesem Fall durch die Analyse der verschiedenen Kostenstellen und Abschätzung des Reduktionspotenzials jeder einzelnen Kostenstelle durch die geplanten Sanierungsmassnahmen. In Bild 4 sind die Kapitalwertverläufe der fünf Sanierungsvarianten in entsprechender Weise aufgetragen, hier jedoch unter Berücksichtigung der genannten Einsparungspotenziale. Den nun völlig anders verlaufenden Kapitalwertkurven ist zu entnehmen:

- Es ist nicht mehr die Variante 3, sondern die Sanierungsvariante 5 am gesamtwirtschaftlich günstigsten.
- Der Barwert der Variante 5 und Variante 3 wird ab einem Zeitraum von etwa sechs bis acht Jahren sogar positiv gegenüber der fiktiven «Nullvariante». Dies bedeutet, dass die Sanierung entsprechend dieser Variante sich wirtschaftlich rechnet und die Rentabilität der Wasserkraftanlage sogar erhöht.

Durch den Vergleich aller relevanten Kostenanteile einer Refurbishmentmassnahme (Investitionen, Mehrerzeugung, Betriebs- und Wartungskosten), der Bewertung der zukünftigen Auswirkungen hinsichtlich Anlagensicherheit und Betriebsrisiko mit den geschätzten Aufwendungen des Betriebes ohne besondere Massnahmen kann sehr gut die gesamtwirtschaftlich beste Vorgangsweise gefunden werden.

Es kann mit dieser Bewertungsmethode zusammenfassend gezeigt werden,

- wie die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung mit dem bestehenden Betriebsmodell verläuft
- ob es überhaupt sinnvoll ist, ein Refurbishmentprojekt in Angriff zu nehmen
- wann der beste Zeitpunkt für den Beginn des Refurbishmentprojektes ist
- welche der verschiedenen möglichen Varianten die gesamtwirtschaftlich beste Lösung ist.

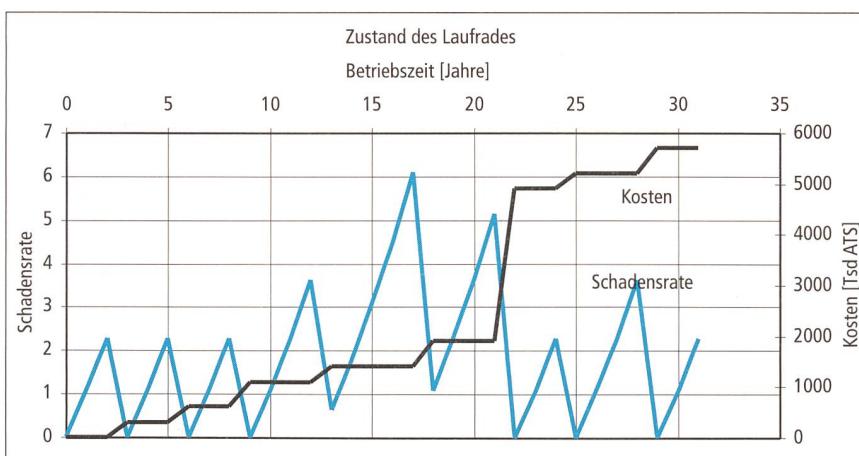


Bild 5 Entwicklung der Schadensrate bei einem Peltonlaufrad.

#### Anhang 4: «Laufradmanagement»

Laufräder sind diejenigen Komponenten in Wasserkraftwerken, die in erster Linie Verschleiss unterliegen und massgebliche Kostenfaktoren der gesamten Anlage darstellen. Die Betreiberphilosophien begründen sich vielfach auf punktuellen Erfahrungen und sind daher höchst unterschiedlich. Die von uns entwickelte Methodik des «TIWAG-Laufradmanagements» stellt einen möglichst objektivierten Zugang zur strategisch optimierten Planung der Wartung und Instandsetzung von Peltonlaufrädern dar.

Im Rahmen der Durchführung eines Laufradmanagementprojekts werden zunächst die betrieblichen Bedingungen und Einflüsse sowie der aktuelle Zustand eines Peltonlaufrades nach objektivierten Größen festgestellt. Dazu werden eigens entwickelte theoretische Grundlagen herangezogen, welche durch wiederholbare Messungen und Langzeit-Erfahrungen an vergleichbaren Anlagen unterstützt werden. Aus der folgenden Beurteilung in Form von Kriteriendefinitionen werden für verschiedene Strategien der Lauf-

radinstandhaltung Massnahmen sowie Kosten ermittelt. Auf dieser Basis können schliesslich die Massnahmen für eine gesamthaft optimale Instandhaltungsstrategie abgeleitet werden.

Das «TIWAG-Laufradmanagement» setzt sich aus folgenden Modulen zusammen:

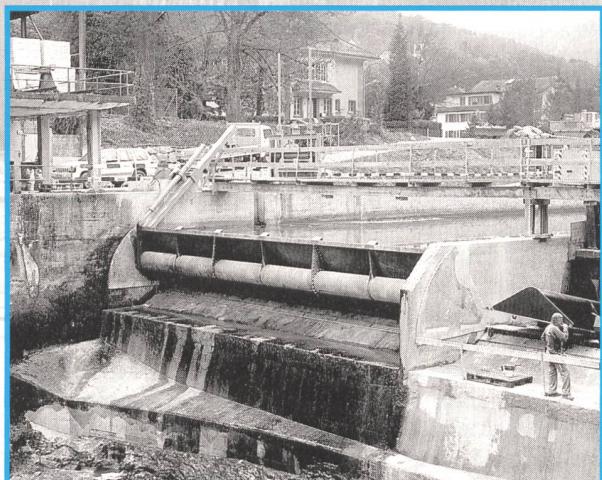
- Betriebsdaten- und Zustandserfassung
- Bewertung und «Objektivierung» der Zustandsgrössen, Einordnung in einen Kriterienkatalog
- Ermittlung von möglichen Massnahmenvarianten und deren Kosten
- Erstellung eines Massnahmenkatalogs als Planungswerkzeug für die optimale Instandhaltungsmassnahme.

Bild 5 zeigt die Entwicklung der Schadensrate bei einem Peltonlaufrad (Leistung 28 MW) bei kontinuierlicher Instandsetzung mit den dazugehörigen Kosten. Analog zur beschriebenen Wirtschaftlichkeitsrechnung werden auch hier mehrere verschiedene Instandsetzungsmethoden untersucht und einer Vergleichsrechnung unterzogen. Hieraus lässt sich dann gut ableiten, auf welche Weise das Laufrad technisch sowie wirtschaftlich optimal zu «managen» ist.

#### «Refurbishment» dans les centrales hydrauliques

Le vieillissement des centrales hydrauliques fait sans cesse croître tant le risque des installations que le coût d'entretien et de réparation. Les mesures de réhabilitation et de renouvellement étant tributaires d'une dépense d'investissement supplémentaire, on diffère très souvent les décisions le plus longtemps possible. Le présent article montre un accès systématique et structuré aux «projets de refurbishment» qui permet de tenir compte non seulement des aspects techniques, mais aussi des facteurs d'exploitation et de risque. Partant d'expériences concrètes, on peut prouver qu'un concept détaillé et réfléchi permet non seulement de maintenir mais d'augmenter encore la rentabilité économique d'une centrale hydraulique malgré les investissements engagés.

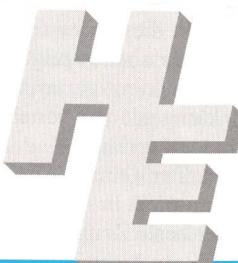
Wir sind  
**Spezialisten**  
im Stahlwasserbau



Segmentschützen  
Segmentschützen mit Aufsatztüren  
Klappen  
Roll-Tafelschützen  
Gleit-Tafelschützen  
Stahldammbalken  
Leichtmetalldammbalken  
Nadel-Notverschlüsse  
Einlauffrechen  
Rechteckige und runde Drucktüren  
Druckleitungen und Panzerungen

**H. Erne Metallbau AG**  
CH-5316 Leuggern, Steiächer

Tel. +41 56 268 00 20 • Fax +41 56 268 00 21 • [www.h-erne.ch](http://www.h-erne.ch)



Metall-/Stahlbau • Stahlwasserbau • Sonderkonstruktionen • Umwelttechnik  
Anlage- und Apparatebau • Montagen/Revisionen