

<b>Zeitschrift:</b>	Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
<b>Band:</b>	74 (1982)
<b>Heft:</b>	11-12
<b>Artikel:</b>	Geänderte Randbedingungen für Betrieb von Wasserkraftgeneratoren und ihr Einfluss auf Instandhaltungsstrategien
<b>Autor:</b>	v. Planta, Andrea / Spaargaren, Barend
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-941167">https://doi.org/10.5169/seals-941167</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

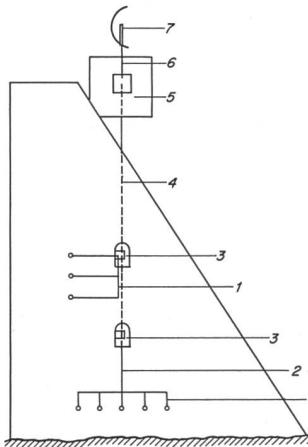
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées 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:** 21.02.2026

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



1 Porenwasser-Druckmesser mit Geber  
 2 Übertragung  
 3 Messstelle (mobil oder fest)  
 4 Sammelstelle, evtl. geschlautet  
 Übertragungsleitung (Glasfaser)  
 5 Staumauerwarte  
 6 Von hier aus gehen die Messwerte über Koaxial-Glasfaser Kabel (6) und Funk (7) an die Zentrale, wo die Werte im Computer kontrolliert, registriert und teilweise ausgewertet werden. Hier werden sie vom Kraftwerkpersonal ein erstesmal beurteilt. Später werden sie von den für die Sicherheit des Stauwerkes Beauftragten ausgewertet.

Bild 6. Übersicht über den Weg der Informationen aus den Porenwasser-Druckgebern von der Staumauer bis zur Auswertung und Beurteilung.

## 2. Variante: Induktive Messung

Am Lotdraht sind Ferrit-Messkerne befestigt. Diese bewegen sich innerhalb eines durch Spulen erzeugten Feldes. Die örtliche Feldänderung ist das Mass für die Bewegung (nicht lineare, nicht rückwirkungsfreie Kopplung).

## 3. Variante: Mechanischer Abgriff, kapazitive Wertumwandlung

Mit einer Gabel wird die Drahtbewegung abgetastet. Die dadurch bedingte Winkelbewegung führt zur Änderung der Fläche einer Kapazität (Prinzip Drehkondensator). Die Grösse der Kapazität ist das Mass für die Bewegung (mechanisch starre Kopplung, nicht ganz rückwirkungsfrei, elektronisch linearisiert).

Zur Auswahl der einzubauenden Variante tragen die Antworten auf die folgenden Fragen bei:

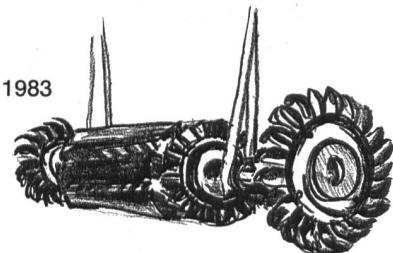
Welches ist der notwendige Messbereich, und in welchem Bereich sind welche maximalen Linearitätsfehler zugelassen? Grösse der Fehler? Benötigt das System annähernd Umgebungsverhältnisse wie ein Labor? Welche Rückwirkungsfehler treten auf? Wie gross und welcher Art sind sie, und kann man sie kontrollieren? Welche Störgrössen können beeinflussen, wie können sie gemessen, wie kontrolliert werden? Wird das System einbaubereit geliefert (mit Befestigung, Geber, Kabel, Blitzschutz)? Welches ist die Ausfallwahrscheinlichkeit der Elemente?

Der Entscheid, welche Daten ferngemessen werden sollen, vor allem aber welche Systeme einzusetzen sind, ist nicht immer leicht. Es ist jedoch zu hoffen, dass diese Ausführungen den Entscheid etwas erleichtern helfen.

Adresse des Verfassers: Josef Zillinger, dipl. Ing. ETH, Inhaber der Huggerberger AG, Hohlstrasse 176, 8004 Zürich.

Vortrag gehalten an der Tagung über Automatisierung der Talsperrenüberwachung, die am 14. und 15. Oktober 1982 vom Schweizerischen Nationalkomitee für Grosses Talsperren Locarno durchgeführt wurde.

20./21. Januar/janvier 1983  
 CH-4310 Rheinfelden  
 Casino



Fachtagung «Unterhalt, Revisionen und Erneuerung von Turbinen-Generatoren-Einheiten von Wasserkraftanlagen»

Journées professionnelles «Maintenance, révision et renouvellement d'unités turbine-générateur d'installations de force motrice hydraulique»

Der folgende Beitrag behandelt ein Hauptthema dieser Fachtagung.

# Geänderte Randbedingungen für Betrieb von Wasserkraftgeneratoren und ihr Einfluss auf Instandhaltungsstrategien

Andrea v. Planta und Barend Spaargaren

## Zusammenfassung

Eine flexible Instandhaltungsstrategie, bestehend aus zustandsabhängiger Instandhaltung, ergänzt durch periodische Diagnosesstellungen von verschiedener Tiefe (mehrstufige Diagnosepakete), stellt heute eine sinnvolle Antwort auf die veränderten Randbedingungen für den Betrieb von Wasserkraftwerken dar. Sie sollte es dem Betreiber ermöglichen, seine Anlage optimal zu nutzen. Die Diagnostik liefert dabei einen wichtigen Beitrag zur Entscheidungsfindung, insbesondere als Ergänzung zur laufenden Zustandsüberwachung, da sie oft wesentliche Informationen zum Entscheid beitragen kann, ob eine Revision erforderlich ist oder nicht.

Résumé: Conditions changées pour l'exploitation d'aménagements hydrauliques et leurs influence sur les stratégies de maintien.

Une stratégie flexible de maintien, étant composée du maintien de conditions et complétée par des diagnostics périodiques de différentes profondeurs, peut donner aujourd'hui des réponses valables aux conditions changées pour l'exploitation des aménagements hydro-électriques. Elle devrait rendre possible un bénéfice optimal à l'exploitant de l'usine. La diagnostique contribue une partie importante au choix du procédé de maintien, particulièrement comme complément à la surveillance permanente, comme elle peut contribuer des informations essentielles à la décision si une révision est nécessaire ou non.

Abstract: Changing boundary conditions for the management of hydrogenerators; influence on maintenance strategies

A flexible maintenance strategy consisting of on condition maintenance, supplemented by periodic diagnostic checks of various depth, can give a sensible answer to today's changed boundary conditions for the management of hydraulic power plants. This should enable the owner,

to get the full benefit of his investment in plant and equipment. The diagnostics are an important help to the decision making process in maintenance, as they supply valuable information in addition to the usual trend monitoring, which can help to answer the question whether an overhaul be necessary or not.

### Einleitung

Oberstes Ziel jeder Instandhaltungsstrategie für Wasserkraftwerke muss sein, bei vernünftigen Unterhaltskosten die Verfügbarkeit der Anlage möglichst hoch zu halten. Dies garantiert eine hohe Betriebssicherheit, wodurch ungeplante Produktionsausfälle und die damit zusammenhängenden Kosten für die Beschaffung von Ersatzenergie vermieden werden können. Auf diese Art leistet auch die Instandhaltung ihren wichtigen Beitrag zur sicheren und preisgünstigen Energieversorgung unseres Landes.

Instandhaltungsstrategien sind aber nicht etwas Starres, Absolutes, sondern sie müssen auf die zu betreuende Anlage und ihre Betriebsbedingungen zugeschnitten sein. Nun haben sich in den letzten Jahren viele der Randbedingungen für den Betrieb unserer Anlagen ganz wesentlich geändert, teils im positiven Sinne, was zum Beispiel die Möglichkeiten der Elektronik betrifft, teils auch im negativen Sinne, wenn man an die erschwerte Planung im Energiektor und an die damit verbundene Reduktion der Reservekapazität denkt. Damit wird offensichtlich, dass auch die Instandhaltungsstrategien an die neuen Randbedingungen angepasst werden müssen. Diese werden gebildet durch Faktoren wie Politik, Gesetze, Vorschriften, Netzsituation, Instrumentarium (zum Beispiel Elektronik), Erfahrungen auf anderen Gebieten (thermische Anlagen, Luftfahrt), u. a. m.

### Erschwerte Planung . . .

Ein kurzer Blick in die Tagespresse der letzten Zeit enthüllt, dass sich die politischen Randbedingungen für das Planen in der Energiewirtschaft grundsätzlich geändert haben. Es ist dabei nicht nur einseitig der Fall, dass sich Kritik und Beschwerden gegen Planung, Bewilligung und Bau von nuklearen Energieerzeugungskapazitäten richten, sondern es sind davon auch in vermehrtem Masse Projekte für verhältnismässig kleine Wasserkraftwerke betroffen. Doch die Opposition gegen den Ausbau der Energieversorgung geht sogar noch weiter und richtet sich auch gegen Erneuerungs- und Ausbauprojekte bereits bestehender Wasserkraftwerke und zugehöriger Anlagen wie zum Beispiel Wasserfassungen.

Die teilweise stark erschwerte Bewilligungspraxis für neue Kraftwerke und für Änderungen an bestehenden Kraftwerken arbeitet mit äusserst komplexen Genehmigungsverfahren, in welche die verschiedenartigsten Behörden, Verbände und Interessengemeinschaften involviert sind. Neben den Konzessionsbehörden beanspruchen bei einem Wasserkraftwerkprojekt auch Vertreter von Forstwirtschaft, Zivilschutz, Landesverteidigung, Trinkwasserversorgung, Landschaftsschutz, um nur einige davon zu nennen, das Recht, ihren Einfluss bei Planung und Bewilligung geltend zu machen. Dies muss unweigerlich zu aufwendigen Genehmigungsverfahren führen, womit die Energieplanung im Sektor der Wasserkraft sowohl in quantitativer als auch in zeitlicher Hinsicht sehr schwierig wird.

### ... und ihr Einfluss auf den Betrieb

Für den Betreiber von Wasserkraftwerken bedeutet dies, dass z. B. alte Anlagen, deren Ersatz eigentlich vorgese-

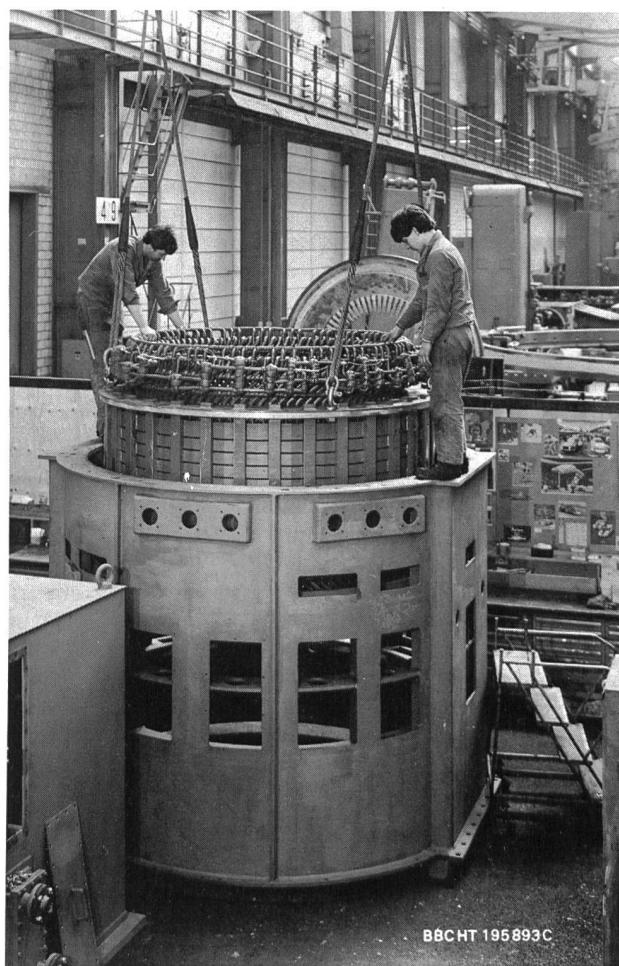
hen gewesen war, aufgrund der bestehenden und für die Zukunft voraussehbaren Netzverhältnisse auch weiterhin im bisherigen Rahmen genutzt werden müssen, oder dass sie mindestens als Reservekapazität bereitzustehen haben. Für den Betreiber stellt sich dabei die Frage, nach welchen Grundsätzen die Instandhaltung durchgeführt werden soll. Auch muss er sich überlegen, ob und wie weit sich eine Instandsetzung und die Erneuerung einzelner Systeme rechtfertigt.

Die Reduktion der verfügbaren Reservekapazität wirkt sich also direkt auf die Betriebsweise aus, wobei die betrieblichen Randbedingungen sich meist auf eine höhere Ausnutzung der alten, zur Erneuerung vorgesehenen Anlagen beziehen. In vielen Fällen führt dies auch dazu, dass eine Anlage weit über deren ursprünglich vorgesehene Lebensdauer hinaus betrieben werden muss, so dass sich Untersuchungen über die Restlebensdauer aufdrängen. Bei Anlagen mit hoher Zeitausnutzung schliesslich stellt sich die Frage, wie weit wichtige Instandhaltungsarbeiten immer wieder hinausgeschoben werden können, ohne dass die Sicherheit der Anlage tangiert wird.

### Elektronik eröffnet neue Möglichkeiten

Glücklicherweise hat sich das für die Instandhaltung zur Verfügung stehende Instrumentarium zu Gunsten des

Bild 1. Einsetzen des Einschubstators ins bestehende Statorgehäuse eines der drei Generatoren der Zentrale Montcherand der Compagnie Vaudoise d'Electricité (5300 kVA, 13,5 kV, 750 U/min). Der Einschubstator besteht aus einer neuen Statorwicklung und einem neuen Statorblechpaket in Micadur-Compact®-Technik. Die Teilerneuerung wurde beschlossen, nachdem die BBC-Diagnose die stark fortgeschrittene Alterung der Windungsisolation festgestellt hatte. Mit der «alten» Wicklung kann weiterhin elektrische Energie produziert werden, bis der Einschubstator hergestellt und geprüft ist. Die Stillstandzeit beschränkt sich damit auf den Austausch der Aktivteile.



BBCH 195893C

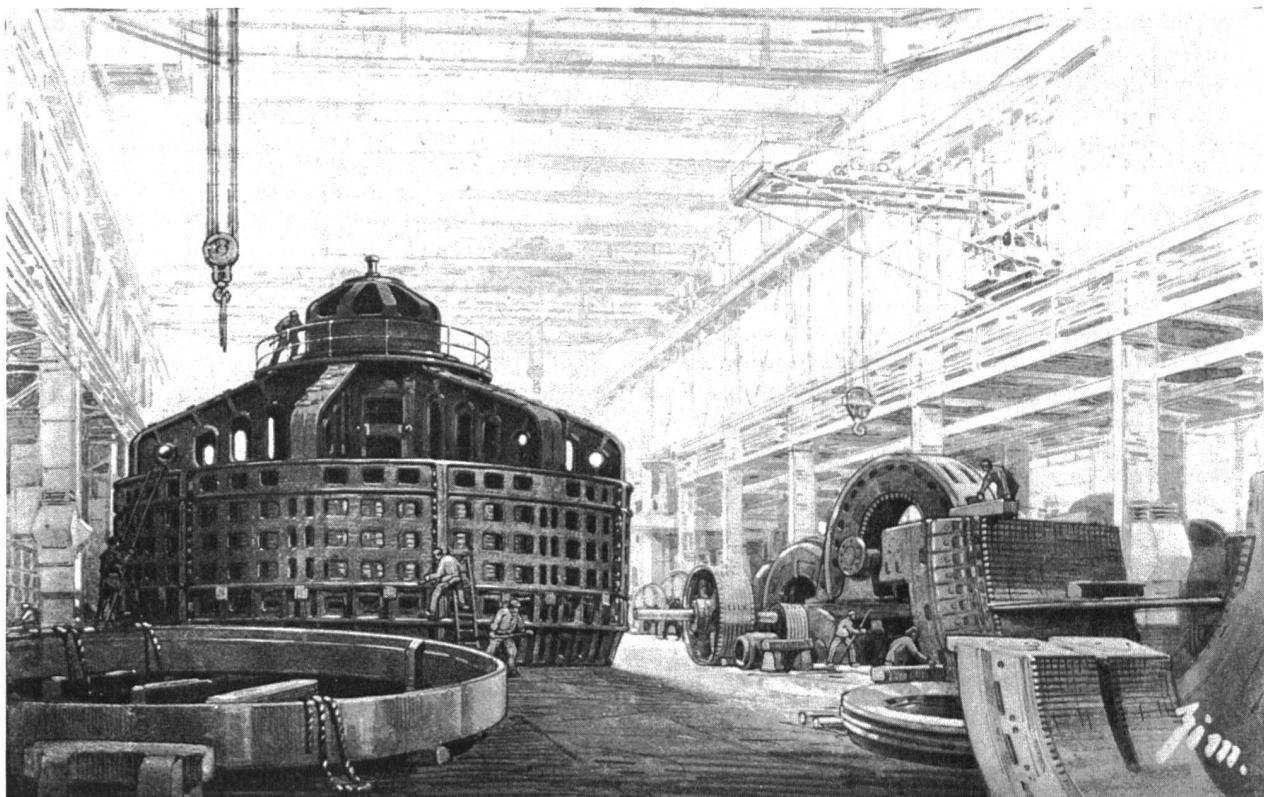


Bild 2. Werkmontage der Generatoren für das Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt (Lithographie aus dem Jahre 1929/30). Das über 50 Jahre alte Kraftwerk mit seinen 4 Generatorgruppen (32,5 MVA, 11 kV, 75 U/min) befindet sich heute in einem guten Zustand. Lediglich die Aktivteile, die der Alterung oder dem Verschleiss unterworfen sind, werden zurzeit erneuert. Dank sorgfältiger und langfristiger Planung konnte unter Anwendung der heutigen Techniken und Materialien eine bedeutende Leistungssteigerung von 32,5 auf 40 MVA erreicht werden.

Kraftwerkbetreibers verändert. Was grundsätzliche Überlegungen und Instandhaltungsstrategien betrifft, so können wir heute auf wichtige Erfahrungen auf dem Gebiet der thermischen Anlagen, der Luft- und Raumfahrt zurückgreifen. Was die Hardware betrifft, so verfügt man dank der Elektronik über genügend Möglichkeiten zur Datenerfassung, Datenübermittlung und -auswertung, womit sinnvolle Überwachungs- und Diagnosesysteme geschaffen werden können. Hinzu kommt noch eine breite Palette an zerstörungsfreien Materialprüfungen, welche uns im Einzelfall bei der Entscheidungsfindung helfen. Eine äusserst wichtige Randbedingung bildet das Alter einer Anlage: Es gibt einen unmittelbaren Hinweis auf den Stand der Schutz-, Steuerungs- und Regelungssysteme, und zwar sowohl in bezug auf Ausführungsart und Zuverlässigkeit der Hardware, als auch in bezug auf die dabei verwendete Sicherheitsphilosophie. Beide Faktoren müssen unabhängig voneinander betrachtet werden. Hier ist es möglich, z. B. bei einer Automatisierung wesentliche Verbesserungen in bezug auf Betrieb und Sicherheit quasi als Nebeneffekt zu erreichen.

#### *Restlebensdauer einer Anlage*

Die Gesetze und die Konzessionsbestimmungen über den Heimfall von Wasserkraftanlagen an den Konzessionsgeber können auch für Instandhaltung und Instandsetzung eine Rolle spielen und bilden daher eine weitere Randbedingung für den Betrieb. Auf den Zeitpunkt des Heimfalls sollte nämlich der Zustand einer Anlage sowohl vom Standpunkt des Konzessionsgebers als auch vom Standpunkt des Betreibers aus möglichst genau definiert werden, weil damit eine saubere finanzielle Regelung der Übergabe ermöglicht wird, welche sowohl für den gegenwärtigen als auch für den zukünftigen Betreiber von Inter-

esse ist. Dies bedeutet, dass hier ein gewisser Bedarf für Restlebensdaueruntersuchungen und für daran anschliessende Instandsetzungsarbeiten vorhanden ist.

Es stellt sich nun die Frage, wie diese Randbedingungen, welche zurückgehen auf politische Faktoren, auf Betrieb, Instrumentarium für Überwachung und Instandhaltung, Alter einer Anlage oder auf Gesetze, Vorschriften und Konzessionstexte, sich auf die Instandhaltungsstrategie auswirken.

#### *Grundsätzliche Instandhaltungsstrategien*

Bisher wurden vor allem zwei Varianten der Instandhaltung angewendet, nämlich einerseits die sogenannte zeitabhängige Instandhaltung und andererseits die schadenabhängige Instandhaltung. Schadenabhängig fährt man immer dort, wo man eine Anlage bis zum Eintreten eines erzwungenen Stillstandes ohne irgendwelche grösseren Inspektions- und Revisionsarbeiten betreibt. Dies ist gar nicht so selten der Fall, wie man auf den ersten Blick meinen möchte. Wenn Sicherheit und menschliches Leben nicht tangiert sind, kann schadenabhängige Instandhaltung sogar sehr sinnvoll sein, man denke z. B. an extrem alte Anlagen, an Zeiten grosser Netzüberlastung oder an Mangel an finanziellen Mitteln. Dies sind typische Fälle, in welchen man bereit ist, ein erhöhtes Schadenrisiko einzugehen.

Die zeitabhängige Instandhaltung dagegen ist eine Strategie der vorsorglichen Instandhaltung, bei welcher man in zeitlich zum voraus bestimmten Abständen Inspektionen und Revisionsarbeiten durchführt. Alle grösseren Hersteller geben hierzu ihre Empfehlungen ab und arbeiten mit dem Konzept der äquivalenten Betriebsstunden, wobei neben der Anzahl Betriebsstunden auch die Anzahl Starts berücksichtigt wird.

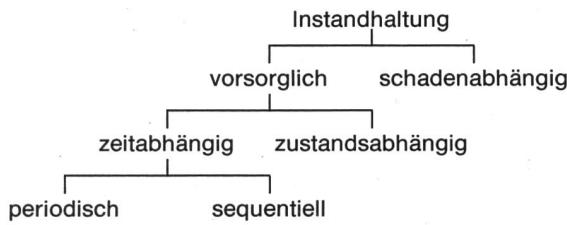


Bild 2. Darstellung von Instandhaltungsstrategien.

Mit wenigen Ausnahmen erreichen die heutigen Wasserkraftwerke sehr hohe Zeitverfügbarkeiten, welche ohne weiteres zwischen 99 und 100% liegen. Die Wahl der Zeitabstände für Inspektionen und Revisionen übt einen grossen Einfluss auf Verfügbarkeit und Unterhaltskosten aus. Zu kurz angesetzte Revisionsintervalle verschlechtern die Verfügbarkeit, erhöhen die Unterhaltskosten, so dass auch die Kosten für die erzeugte Kilowattstunde ansteigen; gleichzeitig entsteht noch ein unnötiges Sicherheitsrisiko, denn bei jedem Eingriff an der Maschine können neue Fehler eingebaut werden.

Bei zeitabhängiger Instandhaltung können die Arbeiten in regelmässigen Abständen, also periodisch durchgeführt werden. Man besitzt aber auch die Möglichkeit, das Intervall bis zur nächsten Revision jeweils bei der letzten Revision festzulegen und spricht in diesem Fall von einer sequentiellen Instandhaltungsstrategie.

Besonders bei komplexen Anlagen stellt man oft fest, dass die Verfügbarkeit bei einer Verlängerung der Revisionsintervalle ansteigt. Man kann die Unterhaltsperioden weiter verlängern oder sogar ganz weglassen, ohne dass sich die Verfügbarkeit wieder verschlechtert. Bei geeigneter Anlagenüberwachung wird man in diesem Fall den Betrieb aufrecht erhalten, bis sich aufgrund der Betriebsüberwachung eindeutig Zeichen für eine Verschlechterung des Anlagenzustands einstellen. Diese Art der Instandhaltung bezeichnet man als zustandsabhängig.

### Erfahrungen der Luftfahrt

Interessant ist die Entwicklung der vorsorglichen Instandhaltung in der Luftfahrt: Hier hat man noch Anfang der 60er Jahre fast ausschliesslich mit fixen Laufzeiten gearbeitet, welche teilweise von den Herstellern und teilweise von den Aufsichtsbehörden (Luftämtern) festgelegt und/oder genehmigt wurden. Es hat sich dann gezeigt, dass man auf diese Art viele Komponenten ausbaute, deren Restlebensdauer noch lange nicht erschöpft gewesen wäre, doch zeigte sich ebenso, dass durch diese Vorschriften bei Revisionen neue Fehler in vorher einwandfrei funktionierende Systeme eingebaut wurden. Diese Erkenntnisse bewirkten gegen Ende der 60er Jahre die Abkehr von der Instandhaltung mit fixen Laufzeiten; man wandte sich zustandsabhängigen Instandhaltungen zu.

Der Einfluss solcher Erfahrungen aus Luftfahrt oder aus dem Betrieb grosser thermischer Anlagen ist sicher wichtig. Obschon viele dieser Erkenntnisse nicht direkt auf Wasserkraftwerke anwendbar sind, ist doch die davon gewonnene Systematik anwendbar und wertvoll.

Wie bereits erwähnt, kann sich in Extrempfällen auch eine schadenabhängige Instandhaltungsstrategie, das heisst ein «Fahren bis zum Bruch» anbieten. Im Normalfall wird dies aber nicht sinnvoll sein, da Wasserkraftwerke einen hohen Sachwert repräsentieren, den man nicht aufs Spiel setzen darf, und weil im Schadensfalle mit sehr langen Ausfallzeiten gerechnet werden muss, was entsprechend hohe Kosten für die Beschaffung von Ersatzenergie verursacht.

### Zustandsabhängige Instandhaltung für Wasserkraftwerke

Ausgehend von der sehr hohen Verfügbarkeit der heute in Betrieb stehenden Wasserkraftwerke, bietet sich demnach die zustandsabhängige Instandhaltung in idealer Weise an, da hier jedes unnötige Abschalten der Anlage vermieden wird. Geeignete Überwachungseinrichtungen und -methoden sind heute vorhanden. Günstig wirkt sich auch aus, dass Zustandsänderungen im Vergleich zu thermischen Maschinen langsam vor sich gehen, da Hydrogeneratoren vergleichsweise langsam und unter kalten Betriebsbedingungen laufen. Anderseits enthalten langsame Zustandsänderungen die Gefahr, dass man sich an den neuen Zustand gewöhnt und die Veränderung nicht mehr wahrnimmt. Dieser Gefahr kann man aber leicht durch geeignete Datenreduktion und Trendbildung begegnen.

### Ergänzung durch Diagnose

Die laufende Überwachung der Maschine durch den Betreiber bildet also die Basis für die zustandsabhängige Instandhaltung. Zusätzlich ist es aber sinnvoll, periodisch eine eingehende Diagnose erstellen zu lassen. Hier bietet sich die Zusammenarbeit mit dem Hersteller an, damit dessen Know-how und Instrumentarium im Interesse des Betreibers optimal ausgenutzt werden kann. Gleichzeitig wird auch vermieden, dass der Betreiber für die selten durchzuführenden Diagnosen eigene Einrichtungen und Spezialistenteams aufbauen muss. Für den Hersteller ergibt sich durch den Rückfluss von Erfahrung aus den Anlagen ein zusätzlicher Nutzen, der schliesslich auch wieder den Betreibern neuer Anlagen zugute kommt.

Im Hinblick auf Kosten und Verfügbarkeit ist es nicht unbedingt sinnvoll, jede Diagnose in der gleichen Tiefe durchzuführen. Es erweist sich als nützlich, ein System von stufenweise aufgebauten Software-Paketen zur Diagnosestellung zu verwenden. Solche Pakete können dabei ohne weiteres auf bestimmte Bedürfnisse eingehen, welche durch die veränderten Randbedingungen für den Kraftwerksbetrieb entstanden sind. So entsteht zum Beispiel durch die Bestimmungen über den Heimfall ein Bedarf für die Durchführung von Restlebensdaueruntersuchungen, welche schliesslich zu Umbauten mit Upgrading oder zur Teilerneuerungen in Form von Neuentwicklungen führen können.

### Elektronik: Nachrüsten von Schutz und Regelung

Die sprunghaften Fortschritte der Elektronik wirken sich günstig auf die Instandhaltung aus. Damit erhält man ein wertvolles und vielseitiges Instrumentarium für die Anlagenüberwachung, doch muss darauf hingewiesen werden, dass man auch mit konventionellen Mitteln sehr gute Trends aufnehmen und Diagnosen stellen kann. Noch wichtiger als die Elektronik ist hier die Einstellung des Betreibers. Vorteilhaft ist schliesslich, dass die Elektronik für Schutz, Regelung und Steuerung die Möglichkeit einer kosteneffizienten Nachrüstung bietet, womit auch alte Anlagen dem heutigen Stand der Technik angepasst werden können und womit insbesondere die Betriebssicherheit erhöht werden kann.

Adresse des Verfassers: *Andrea von Planta*, Leiter der Funktionsstelle Produkt-Service im Geschäftsbereich Stromerzeugung, und *Barend Spaargaren*, Leiter Produkt-Service Wasserkraftanlagen, BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie, CH-5401 Baden.