Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 22

Artikel: Ein altes Wasserkraftwerk, was nun?

Autor: Engel, A. P. / Fehle, M. / Hartmann, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904715

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: 13.07.2025

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

Ein altes Wasserkraftwerk, was nun?

A.P. Engel, M. Fehle und O. Hartmann

Wasserkraftwerke sind Anlagen, deren Lebensdauer die Zeiträume der individuellen Erfahrungsbildung von Menschen übersteigt. Es ist daher für den Betreiber einer Wasserkraftanlage kaum möglich, Entscheidungen über die Zukunft der Anlage aufgrund eigener Erfahrung zu treffen. Der folgende Beitrag zeigt die Entscheidungsfaktoren anhand allgemeiner Überlegungen auf, die bei der Gestaltung der Zukunft alter Wasserkraftwerke wichtig sind.

La durée de vie d'une centrale hydraulique dépasse la période de temps durant laquelle l'être humain accumule ses expériences personnelles. Pour cette raison il est pratiquement impossible à l'exploitant d'une installation de centrale hydraulique de prendre des décisions, basées sur ses propres expériences, concernant l'avenir d'une telle installation. L'article suivant montre, en se basant sur des réflexions générales, les facteurs de décision qui jouent un rôle important pour la conception de l'avenir de vieilles centrales hydrauliques.

Adresse der Autoren

Arnold P. Engel, Martin Fehle und *Otto Hartmann*, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5401 Baden

1. Einleitung

Die Erfahrung lehrt uns, wann Güter des täglichen Gebrauchs altersschwach werden und ersetzt werden müssen. Am Beispiel des Automobils lässt sich das Problem leicht darstellen: Die alten Reifen sind dann zu ersetzen, wenn die Sicherheit des Fahrzeuges mit abgefahrenen Reifen nicht mehr gewährleistet ist und das Risiko für die Insassen, das eigene Fahrzeug und für unbeteiligte Dritte zu gross wird. Beim Automobil gibt es Regeln und Gesetze, die auch dem unerfahrenen Automobilbenützer aufzeigen, wann die Grenzen der Verkehrs- und Betriebssicherheit für ein Fahrzeug überschritten sind. Der erfahrene Automobilist weiss, wann die beste Zeit zum Ersatz eines Reifens oder gar des ganzen Fahrzeuges gekommen ist.

Bei Wasserkraftanlagen, deren Lebensdauer die aktive Zeit eines Menschen übersteigt, reicht der Erfahrungsstand eines einzelnen nicht aus, in Fragen der Betriebssicherheit, der Zweckmässigkeit von Massnahmen und des richtigen Zeitpunktes einer Erneuerung selbständig zu entscheiden. Um diese Entscheide treffen zu können, ist eine Beurteilung der Anlage nach gewissen Gesichtspunkten durchzuführen. Es gilt, die vielfältigen Einflussgrössen zu erfassen und die verschiedenen Strategien zu evaluieren.

2. Lebenszyklen von Wasserkraftwerken

Für Wasserkraftanlagen ganz besonders typisch ist die Verknüpfung von Komponenten verschiedenster Technik – vom Tiefbau bis zur Elektronik –, die nicht nur mit unterschiedlicher Lebensdauer behaftet, sondern auch verschieden rascher technischer Entwicklung unterworfen sind. Die Geschichte der hydroelektrischen Kraftwerke ist ungefähr hundert Jahre alt. Erfahrungen über die integralen Lebenszyklen bestehender Wasserkraftwerke sind kaum vorhanden. Kontinuierliche Verbesserungen im Stand der Technik von Wasserkraftanlagen und Maschinen erschweren eine Extrapolation der wenigen vorhandenen Erfahrungen in die Zukunft.

In der Frühzeit des Wasserkraftwerkbaues erfolgten Um- und Neubauten viel häufiger als heute. Überholte Technologie, falsche Einschätzung der zukünftigen Entwicklung und fehlende Übereinstimmung in technischen Normen behinderten die Integration einzelner Wasserkraftanlagen in den Verbund der Elektrizitätswerke, wie wir dies heute kennen. Um- und Neubauten wenige Jahrzehnte nach dem Erstausbau waren in der Frühzeit der Wasserkraftnutzung nicht selten. Diese erste Erneuerungswelle liefert wenig Anhaltspunkte über die heute einzuschlagende Strategie. Für viele heute noch in Betrieb stehende ältere Wasserkraftanlagen ist jedoch das kritische Alter für eine Erneuerung gekommen.

Der *technische Lebenszyklus* einer Wasserkraftanlage liegt im Schwerpunkt der technischen Lebenszyklen der Funktionseinheiten und deren Einzelkomponenten. Diese wiederum sind abhängig von der Qualität der verwendeten Materialien und deren Verarbeitung sowie vom Unterhalt, den sie während der Nutzungsdauer erhielten. Beste Ingenieurkunst kann nicht verhindern, dass exponierte Teile der Abnutzung, dem Bruch und dem natürlichen Zerfall ausgesetzt sind. Es gibt aber immer wieder geschützte Komponenten und Strukturen, die vom Zahn der Zeit kaum angegriffen werden.

Im ersten Stadium des Lebenszyklus weisen die Komponenten noch kaum Alterungserscheinungen auf. Allmählich benötigen jedoch stark beanspruchte Teile Reparaturen und Ersatz. Regelmässiger Unterhalt und gute Kenntnis über den Zustand der

Anlagen verlängern die Lebensdauer exponierter Funktionseinheiten. Mit weiter zunehmendem Alter der Anlagen beginnen sich die Betriebsausfälle für solche Einheiten zu häufen, der Lebenszyklus nähert sich dem Ende, und Ersatz wird fällig. Die Gesamtheit der Anlage ist durch das Ende von Lebenszyklen einzelner Funktionsgruppen nicht ernsthaft gefährdet. Häufen sich jedoch die Ausfälle verschiedener Gruppen und lassen sich durch Einzelmassnahmen keine befriedigende Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit mehr erzielen, so ist der technische Lebenszyklus der Anlage an seinem Ende.

Der *ökonomische Lebenszyklus* einer Wasserkraftanlage ist bestimmt durch eine der technischen Lebensdauer angepasste Abschreibung der Anlagen und ihrer Funktionseinheiten. Der ökonomische Lebenszyklus soll kürzer sein als der technische Zyklus, das heisst, die Abschreibungen haben nach dem Grundsatz der Bilanzvorsicht zu erfolgen. Keine der Funktionseinheiten sollte vor der vollständigen Abschreibung ersatzbedürftig werden. Der vorzeitige Ersatz von abgenutzten oder defekten Einzelteilen soll die ökonomische Lebensdauer der Funktionseinheit nicht ernsthaft beeinträchtigen.

Schliesslich ist noch der *wasserrechtliche Lebenszyklus* zu erwähnen, dessen Dauer von den Bedingungen der Wasserrechtsverleihung abhängt. Das nahende Ende der Konzessionsdauer vieler Anlagen verleiht dem Thema dieses Aufsatzes besondere Aktualität.

Die Tabelle I zeigt Anhaltswerte für die ökonomische und technische Lebensdauer von Wasserkraftanlagen und ihren Funktionseinheiten. Die Lebensdauereinschätzung steht nicht ein für allemal fest, sie kann sowohl über- als auch unterschritten werden.

3. Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Wasserkraftanlagen

Der Betreiber erwartet von seiner Wasserkraftanlage, dass sie zuverlässig und jederzeit für den Betrieb verfügbar ist. Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit bedingen gute Kenntnisse über das Verhalten der Anlage und gute Planung von Unterhalt und Revision.

Unterhaltsarbeiten erfordern normalerweise eine Stillegung der Maschineneinheiten, die 2 bis 8% der potentiellen jährlichen Nutzungszeit entspricht. Bei gut geplantem Unterhalt beeinflusst die *geplante* Stillegung die Verfügbarkeit der Anlage noch weniger. Bei Laufkraftwerken ist eine Verfügbarkeit von über 97% erreichbar, bei Speicherwerken eine solche von gegen 100%, wenn der geplante Unterhalt in Schwachlastzeiten verlegt werden kann.

Die Erfahrung zeigt, dass intensive und zielgerichtete Unterhalts- und Revisionsarbeiten das Risiko von *unerwarteten* Betriebsausfällen vermindern. Der unerwartete Betriebsausfall beeinträchtigt die Verfügbarkeit der Anlage empfindlich. Anfänglich können viele dieser Betriebsausfälle mit verfügbarer Überkapazität überbrückt werden. Mit zunehmendem Alter nehmen auch die unerwarteten Betriebsausfälle tendenzmässig zu und bewirken eine Verschlechterung der Anlagenverfügbarkeit mit Leistungs- und Energieverlusten.

4. Strategien als Entscheidungsgrundlagen

Soll eine Anlage trotz zunehmendem Alter betriebstüchtig und voll verfügbar bleiben, müssen gewisse Funktionseinheiten erneuert werden. Diese

Ökonomische und technische Lebensdauer von Wasserkraftanlagen und ihren Funktionseinheiten — Tabelle I

Anlage/Funktionseinheiten	Ökonomische Lebensdauer Jahre	Technische Lebensdauer Jahre	Zu berücksichtigende Aspekte, ingenieurmässige Beurteilung
Bauliche Anlagen			
Dämme, Kanäle, Tunnels, Kavernen, Reservoirs, künstliche Seen, Wasserschlösser	60–80	80–150	Dauer des Wasserrechtes, Verarbeitungsqualität, Zerfallserscheinungen, Sicherheit, Wasserverluste
Kraftwerkhochbauten, Wasserfassungen, Wehranlagen, Hochwasserentlastung,	40–50	50–80	Allgemeiner Zustand, Beanspruchung, Materialqualität, Stand der Technik, Sicherheit, Stahlqualität, Korrosion, Rostschutz, Unterhalt
Druckleitungen, Stahlpanzerungen,	40–50	40–60	
Strassen, Brücken	40–50	40–60	
Mechanische Anlagen			
- Kaplan-, Francisturbinen	30–40	30–60	Betriebssicherheit, Wasserverluste, Kavitation, Erosion, Korrosion, Ermüdungsrisse, Wirkungsgradverlust, Stand der Technik, Materialqualität, Betriebssicherheit, Betriebstüchtigkeit, Beanspruchung, Qualität der Einrichtungen, Konstruktion
- Peltonturbinen	40–50	40–70	
- Pumpturbinen	25–33	25–40	
- Speicherpumpen	25–33	25–50	
Schützen, Drosselklappen, Kugelschieber,	25–40	25–50	
Krane, mechanische Hilfsbetriebe	20–40	25–50	
Elektrische Anlagen			
Generatoren	25–40	30–60	Zustand von Wicklung und Eisenkern, Sauberkeit, Betriebssicherheit, Stand der Technik, allgemeiner Zustand, Qualität der Einrichtungen, Unterhalt
Transformatoren, Hochspannungsanlagen, elektrische Hilfsbetriebe, Überwachungseinrichtungen,	20–25	30–40	
Batterien, Gleichstromanlagen	10–20	15–30	
Energieübertragungsanlagen			
Hochspannungsleitungen			Durchleitungsrechte, Korrosion, Netzbelastung, Betriebssicherheit, Materialqualität, klimatische Verhältnisse, Stand der Technik, Auslastung, Leistungsfähigkeit
- Stahlmasten	30–50	40–50	
- Betonmasten	30–40	30–50	
- Holzmasten	20–25	20–30	
- Hochspannungskabel	25–40	30–40	
Niederspannungsverteilung			
- Freileitungen	15–20	15–25	
- Kabelanlagen	25–40	30–40	

Erneuerungsbedürfnisse wachsen allmählich und belasten die Jahresrechnung, ohne dass sich an der technisch überholten Basis der Anlage etwas ändert. Einmal im Lebenszyklus der Wasserkraftanlage werden aber fundamentale Entscheide über die Zukunft der Anlage unausweichlich. Die dabei in Frage kommenden Strategien werden im folgenden in vier Alternativen unterteilt:

- Betriebseinstellung
- Weiterführung des Betriebes ohne technische Veränderung auf unbestimmte Zeit
- Modernisierung und Erweiterung
- Neubau und Erweiterung unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte

● Die *Betriebseinstellung* erscheint auf den ersten Blick als naheliegend, wenn die Jahreskosten (Betriebs- und Unterhaltskosten usw.) die Ertragsmöglichkeiten übersteigen. Die Betriebseinstellung einer Wasserkraftanlage ist jedoch nicht bloss eine Aufgabe unrentabler Produktionsmittel. Es gibt hydraulische Strukturen, die Unterhalt erfordern unabhängig davon, ob das Kraftwerk in Betrieb steht oder nicht. Oft wird die Wiederherstellung des Urzustandes verlangt, was in vielen Fällen erhebliche Stillegungskosten verursacht. Die Wasserrechtsverleihungen schreiben oft vor, unter welchen Bedingungen die Anlagen stillgelegt werden dürfen und wie die Aufhebung des Wassernutzungsrechtes zu erfolgen hat. Die Betriebseinstellung eines Wasserkraftwerkes hebt wohl den Energieertrag auf, aber nicht immer gleichzeitig auch den Unterhaltsaufwand und die Verantwortung.
Ist der Beschluss für eine Betriebseinstellung generell oder auf einen bestimmten Zeitpunkt einmal gefasst, so wird der Unterhalt der Anlagen vernachlässigt. Die verbleibende Betriebszeit dient der bestmöglichen Nutzung bei geringstem Aufwand, bis die Anlage durch höhere Gewalt oder bewusst ausser Betrieb gesetzt wird. Die Anlagen zerfallen dann sehr rasch, und eine spätere Wiederinbetriebsetzung wäre nur unter grossem Kostenaufwand möglich.

● Die *Weiterführung des Betriebes ohne technische Veränderung auf unbestimmte Zeit* ergibt sich bei minimaler Planung. Diese Minimalstrategie verursacht nebst den ursprünglichen meist hohen Betriebskosten mit der Zeit zunehmende Unterhalts- und Revisionsaufwendungen. Gelegentlich wird auch der Ersatz grösserer Bauteile oder ganzer Funktionseinheiten nötig. Die Wasserkraftanlage bleibt dabei auf dem alten Stand der Technik. Auch nehmen gewisse Alterungsprozesse ihren Fortgang. Aus den erwähnten Gründen ist diese Strategie eben doch zeitlich zu begrenzen, wenn sie wirtschaftlich vertretbar bleiben soll. Sie führt letztlich zu einer anderen der hier erwähnten Strategien. Solange sie jedoch angewendet wird, ist stets Sorge zu tragen, dass nicht laufend ungeplante Investitionen zu einem unaufhaltsamen Kreis gesamthaft unwirtschaftlicher Schritte führen.

● Die *Modernisierung und Erweiterung* (Fig. 1 und 2) bedingen einen

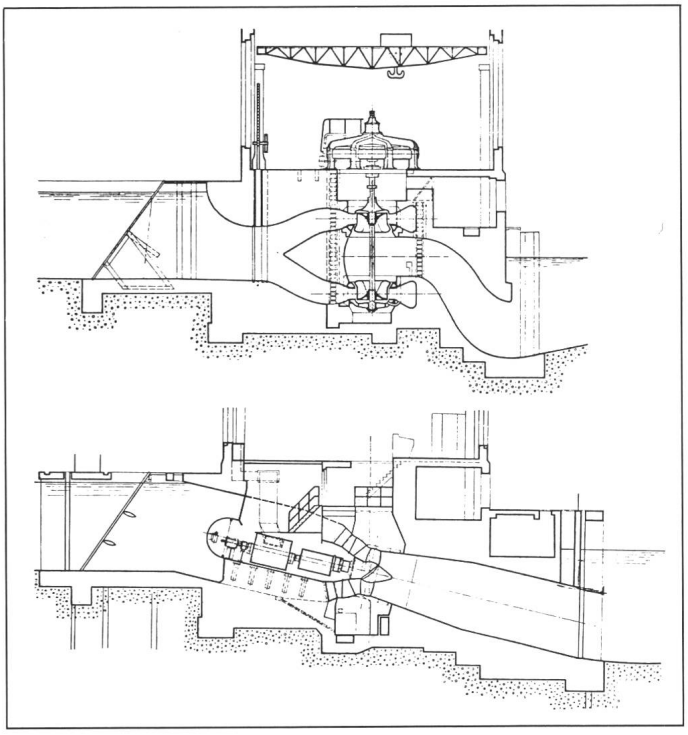


Fig. 1 Maschinenhausquerschnitte des alten (oben) und des erneuerten und modernisierten (unten) Wasserkraftwerkes Aue in Baden

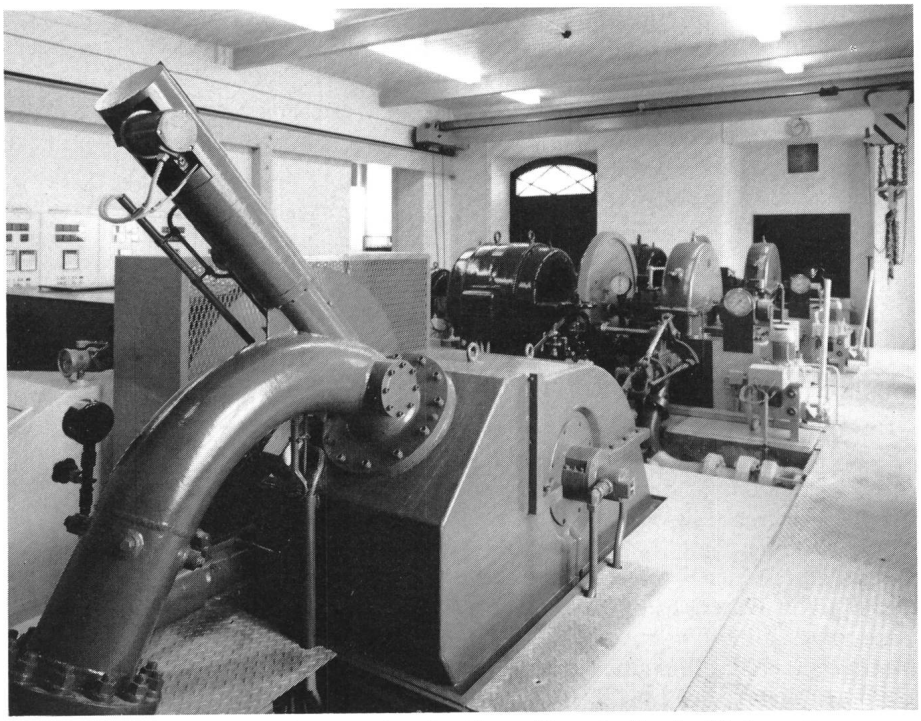


Fig. 2 Maschinensaal des erweiterten und modernisierten Wasserkraftwerkes Niederurnen

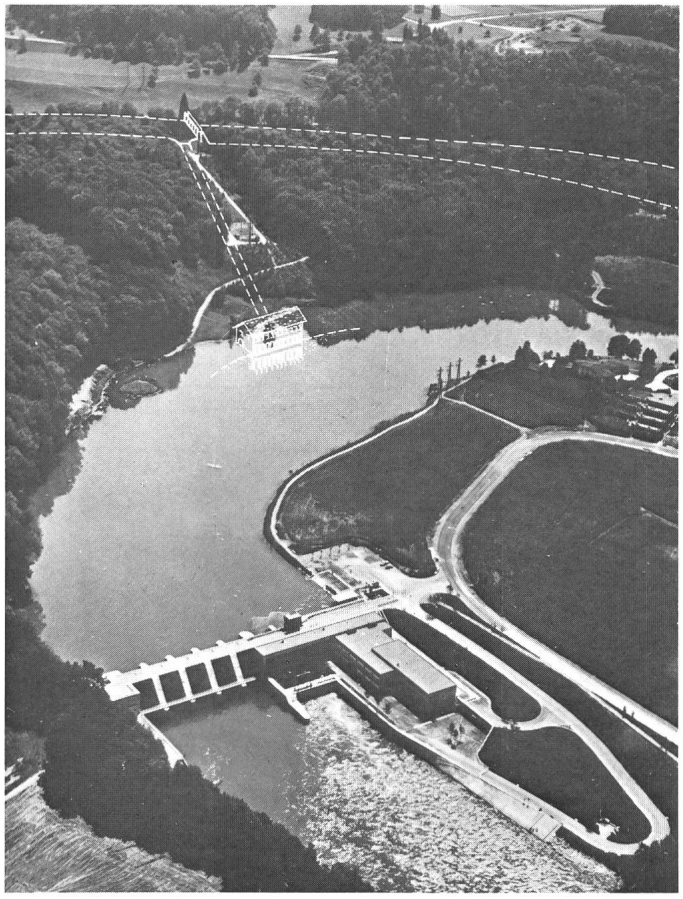


Fig. 3
Das neue Kraftwerk Bremgarten-Zufikon wurde 1976 anstelle des alten, aus dem Jahre 1893 stammenden Kraftwerkes erstellt

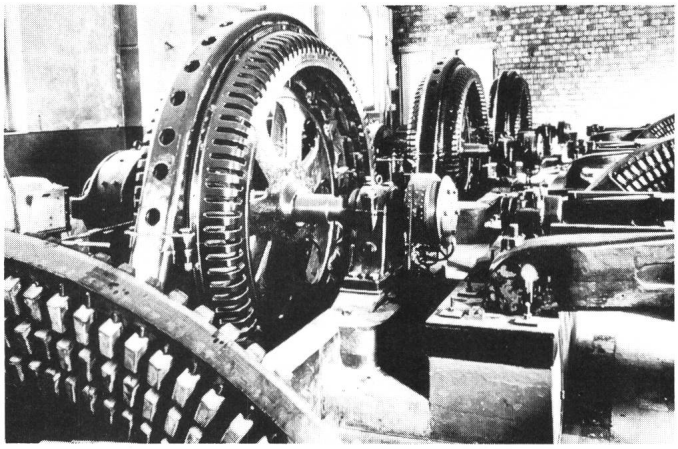
bestimmten finanziellen Mindestaufwand. Sie führen zum Beginn eines neuen Lebenszyklus der Anlage. Dabei werden auch andere Funktionseinheiten soweit wie möglich in das Erneuerungskonzept einbezogen, obwohl deren unmittelbare Erneuerung noch nicht ansteht. Altersschwache oder technisch überholte Funktionsgruppen werden aber in grosszügiger Weise nach dem letzten Stand der Technik derart erneuert, dass möglichst keine Sachzwänge für andere Funktionsgruppen geschaffen werden. Diese Strategie, die mit Vorteil mit einer Erweiterung einhergeht, sofern dies möglich ist, ergibt höhere Betriebserträge bei häufig geringeren absoluten oder spezifischen Betriebskosten als Folge der Automatisierung. Diese Strategie erfordert aber immer wieder neue Investitionen, sobald gewisse Betriebseinheiten erneuerungsbedürftig werden.

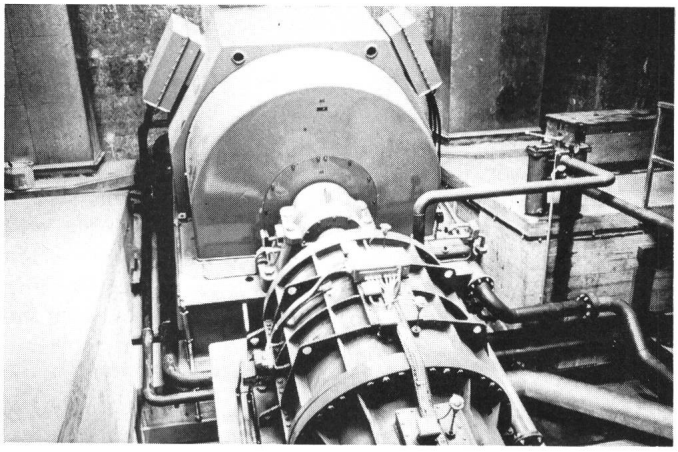
- Der *Neubau und die Erweiterung (Fig. 3 und 4) unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte* erfordern die frühzeitige Planung neuer Anlagen ohne Rücksichtnahme auf bestehende Anlageteile. Damit werden das verfügbare Wasserkraftpotential optimal genutzt und alte Unzulänglichkeiten ausgemerzt. Moderne Technik und verbessertes Verständnis für Fragen der Ökologie und des Naturschutzes erlauben unter Umständen ein besseres Einfügen von Wasserkraftwerk-Neubauten in die Umwelt, als dies bei alten Werken oft noch der Fall war. Die Neubaustrategie ist keine billige Problemlösung für alte Wasserkraftwerke, sie erlaubt aber unter Unständen eine koordinierte Planung mit anderen Werken und eine bessere Gesamtnutzung des Gewässers.

5. Methodik zur Entscheidungsfindung

Es gibt keine einfache Methode, um den zweckmässigen Entscheid für eine Massnahme zu treffen und den richtigen Zeitpunkt für ihre Realisierung festzulegen. Wann immer der Betreiber einer Anlage unsicher über die zukünftigen Unterhalts- und Revisionsmassnahmen ist, sollte er die Evaluation aller möglichen Strategien auf-

Fig. 4
Das alte Kraftwerk Kappelerhof mit ursprünglich vier Maschineneinheiten zu je 400 kW Leistung (oben) ist heute ein Museum. Seit 1976 besteht eine neue Zentrale Kappelerhof (unten)





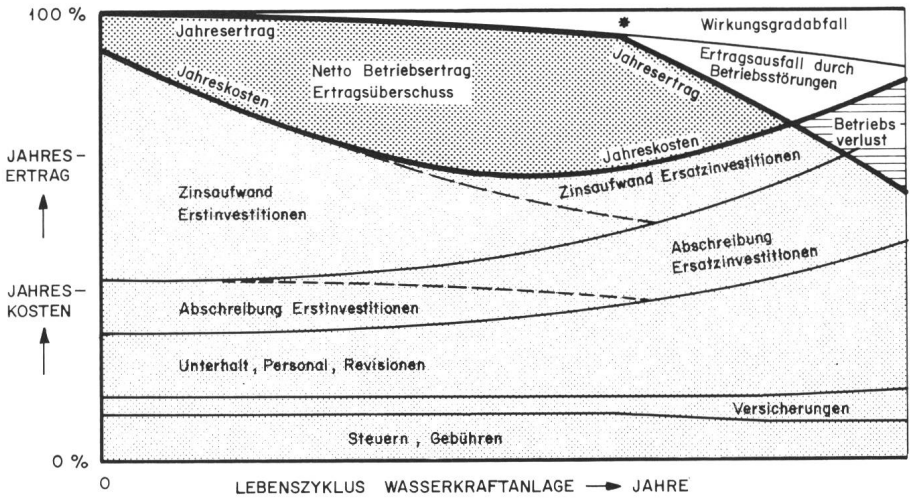
grund einer Kosten-Nutzen-Analyse veranlassen. Da derartige Analysen in einer wechselhaften wirtschaftlichen Umwelt schnell überholt sein können, ist auch die Abhängigkeit der Strategien von verschiedenen wirtschaftlichen Randbedingungen darzustellen (Sensitivitätsanalyse). Das Ergebnis kann unterschiedlich ausfallen für Sofortmassnahmen oder solche aufgrund langfristig konzipierter Planung.

Als erstes ist die bestehende Anlage auf die mögliche Weiterführung des Betriebes hin zu überprüfen. Alsdann sind für die Modernisierung und für den allfälligen Neubau der Anlagen Projektkonzepte zu erarbeiten und Kosten zu ermitteln, die sich untereinander vergleichen lassen. Der wirtschaftliche Vergleich in der Gegenwart schliesst Projektionen in die Zukunft ein und soll die Entscheidung anhand langfristiger Strategien fördern.

Für die betrachteten Strategien und für die wichtigsten Projektalternativen sind die folgenden ökonomischen Daten zu erarbeiten:

- Projektkosten
- Verzinsung, Abschreibungsdauer und Abschreibungsbetreffnisse für die Gesamtanlage und die Betriebseinheiten
- Jahreskosten
- Energieertrag und Verkaufspreise

- Die *Projektkosten* sind auf der Basis von machbaren Projekten einschliesslich der Kosten für Fremdenergiebeschaffung als Ersatz für den Produktionsausfall während der Bauzeit zu bestimmen. Beim Ersatz von hydraulischen Maschinen oder Laufrädern ist bewährten, dem Projekt angepassten Konstruktionen der Vorzug zu geben. Bei Niederdruck- und Mitteldruckkraftwerken sind die Kosten für die Durchführung von Modellversuchen zum Nachweis der richtigen Maschinenauslegung einzubeziehen.
- Die *Verzinsung* des investierten Kapitals ist mit einem langfristig gemittelten Zinssatz durchzuführen. Ferner ist die Sensitivität der untersuchten Strategien auf Zinssatzänderungen darzustellen.
- Die *Abschreibungsdauer und die Abschreibungsbetreffnisse* sind für zusammenhängende Betriebseinheiten separat zu kalkulieren. Alle Instandstellungs- und Modernisierungskosten gelten als Investitionen, die innerhalb der Restabschreibungsdauer der entsprechenden Funktionseinheit abzuschreiben sind. Die Abschreibungsdauern solcher Investitionen müssen kürzer veranschlagt werden, als es dem Lebenszyklus der neuen Teile entspricht. Die Abschreibungsdauer für die Modernisierung alter Anlagen wird daher kürzer als bei neuen Anlagen, da für neue Anlagen in der Regel neue Konzessionsbedingungen und neue Nutzungsdauern ausgehandelt werden können, während die Modernisierung meist im Rahmen der alten Wasserrechtsverleihung erfolgt. Die Erfahrung zeigt, dass die Summe der Abschreibungsbetreffnisse bei der Modernisierung alter Anlagen grösser sein kann als für neue Anlagen. Kleinere Ersatzteilkosten werden als Aufwand im Jahr der Beschaffung direkt abgeschrieben.
- Die *Jahreskosten* werden unterteilt in Kostenbestandteile mit und ohne Beeinflussung durch das Alter der Anlage. Steuern und Abgaben für das Wassernutzungsrecht sind weitgehend unabhängig davon. Unterhalts- und Ersatzteilkosten, Abschreibungskosten für Erneuerungsinvestitionen, Versicherungs-, Personal- und Administrativkosten tendieren mit zunehmendem Alter nach oben. Kosten der Fremdenergiebeschaffung, verursacht durch Betriebsunterbrüche, sind mit in die Vergleichsrechnung einzubeziehen.



* Verfügbarkeit der Anlage beeinträchtigt, weil keine Überkapazität mehr vorhanden

Fig. 5 Dynamische Entwicklung der Jahreskosten und des Ertrages einer Wasserkraftanlage über einen Lebenszyklus

Figur 5 zeigt die typisierte dynamische Entwicklung der Jahreskosten und des Ertrages einer Wasserkraftanlage über einen Lebenszyklus. Die Kosten-Nutzen-Entwicklung zeigt, dass ein Wasserkraftwerk über eine lange Zeitspanne mitten im Lebenszyklus gute Ertragsüberschüsse abwirft, dass aber mit dem Eintritt in die letzte Lebensphase die Kosten rasch zunehmen bei gleichzeitigem Ertragsausfall. Der Ertragsüberschuss verwandelt sich in der Folge in einen Betriebsverlust. Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Abrechnungsart nicht für alle Wasserkraftwerke gilt. Vor allem bei Partnerwerken wird der Ertrag durch die Höhe der Jahreskosten bestimmt. Damit wird es schwierig, den Zeitpunkt des Eintritts in die kritische Lebensphase festzustellen. Erst eine Analyse aller Bewertungsfaktoren verbunden mit der Abschätzung der Betriebsausfallrisiken, des Anlagenzustandes und der wasserrechtlichen Aspekte eines Wasserkraftwerkes kann Grundlagen für den Entscheid der zu wählenden Strategie liefern.

6. Quantitatives Beispiel für vier Strategien

Tabelle II zeigt einen vereinfachten Vergleich von vier Strategien für die Behandlung eines Niederdruck-Flusskraftwerkes im kritischen Alter.

Die Betriebseinstellung des alten Wasserkraftwerkes führt zu Stillegungsinvestitionen und zu Unterhaltskosten in der Phase der Stillegung.

Nach dem Abbruch der Anlagen im Flusslauf gehen die Unterhaltslasten an den Staat zurück. Die elektromechanischen Anlagen und das Kraftwerkgebäude werden abgebrochen, der Oberwasserkanal oder der Druckstollen wird aufgefüllt. Diese Strategie erweist sich aufgrund der Annahmen als nicht zweckmässig. Die Betriebseinstellung kann in Verbindung mit der Neubaustrategie erfolgen.

Die Weiterführung des Betriebes ohne Veränderungen auf unbestimmte Zeit ist defizitär. Grund für die unbefriedigende Situation sind die im Verhältnis zum Ertrag hohen Betriebs- und Unterhaltskosten, welche zudem weiter ansteigen dürften. Dieser Anlagezustand ist in der Regel Ausgangspunkt weiterer Untersuchungen und gilt für die Zeit der Planung und Projektierung zukünftiger Massnahmen.

Die Modernisierung und Erweiterung bei gleichbleibendem Anlagekonzept erweist sich in diesem Fall als unwirtschaftlich, da das Gefälle nicht optimal genutzt wird und der Flussabschnitt zwischen Sperrstelle und Kraftwerk mit Restwasser zu versorgen ist. Der überalterte Zustand der bestehenden Anlagen erfordert eine weitgehende Erneuerung und entsprechend hohe Kosten. Der Ertrag vermag die Jahreskosten nicht zu decken.

Der Neubau und die Erweiterung der Anlage erlauben die volle Nutzung des Gefälles und eine hohe Nutzung der verfügbaren Wassermenge. Durch den Bau einer Sperrstelle im Fluss unterhalb der bestehenden Anlage und durch den Einbau der Zentrale in die Sperrstelle bietet die Restwasserversorgung des Flusses kein Problem. Trotz höherer Investitionen erweist sich die Neubau- und Erweiterungsstrategie als wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll.

Vier Strategien für ein Niederdruck-Flusskraftwerk im wirtschaftlichen Vergleich (vereinfachtes statisches Beispiel, gerundete Zahlen) Tabelle II

		Betriebseinstellung	Weiterführung des Betriebes	Modernisierung/Erweiterung	Neubau und Erweiterung
Technische Daten					
Gefälle maximum	m	6,5	6,5	7,5	11,8
minimum	m	4,7	4,7	6,0	8,9
Ausbauwassermenge	m^3/s	48,0	48,0	120,0	200,0
vorhanden an	Tage/J	320,0	320,0	135,0	88,0
Wirkungsgrad Anlage	%	75,0	75,0	87,5	89,0
Ausbauleistung	MW	1,6	1,6	6,7	18,1
Verfügbare Leistung	MW	1,4	1,4	2,9	5,7
Winterenergie	GWh/J	6,0	6,0	17,0	35,0
Sommerenergie	GWh/J	7,0	7,0	28,0	65,0
Jahresenergie	GWh/J	13,0	13,0	45,0	100,0
Ökonomische Daten					
Investition	Mio Fr.	2,5[1]	1,0	28,0	60,0
Lebensdauer[2]	Jahre	3,0[3]	10,0	30,0	50,0
Zinssatz	%	5,0	5,0	5,0	5,0
Leistungspreis	Fr./kW/J	140,0	140,0	140,0	140,0
Energiepreis Winter[4]	Rp./kWh	8,0	8,0	8,0	8,0
Sommer[4]	Rp./kWh	5,5	5,5	5,5	5,5
Jahresertrag					
Energieertrag Winter	Mio Fr./J	0,5	0,5	1,4	2,8
Sommer	Mio Fr./J	0,4	0,4	1,5	3,6
Leistungsertrag	Mio Fr./J	0,2	0,2	0,4	0,8
Total	Mio Fr./J	1,1	1,1	3,3	7,2
Jahreskosten					
Steuern, Gebühren	Mio Fr./J	0,1	0,1	0,4	1,1
Erneuerungsfond	Mio Fr./J	0,0	0,3	0,9	1,2
Personal	Mio Fr./J	0,6	0,6	0,5	0,5
Unterhalt	Mio Fr./J	0,2	0,3	0,3	0,3
Zinsen, Abschreibung[5]	Mio Fr./J	0,9	0,1	1,8	3,3
Total	Mio Fr./J	1,8	1,4	3,9	6,4
Gewinn/Verlust	Mio Fr./J	−0,7	−0,3	−0,6	+0,8

[1] Abbruch- und Wiederherstellungskosten
[2] Gemittelte ökonomische Lebensdauer der verschiedenen Funktionseinheiten
[3] Bauzeit der Neubaualternative
[4] Energiepreis gewichtet nach Hoch- und Niedertarifanteil an der Produktion
[5] Verzinsung des Kapitals und Abschreibung nach der Annuitätenmethode

7. Schlussbemerkungen

Das Beispiel zeigt die Wichtigkeit der Definition möglicher Strategien und des Vergleichs in statischer und dynamischer Betrachtungsweise, bevor zukunftsbestimmende Entscheide gefällt werden. Die technische Analyse steht in einem sich ständig verändernden wirtschaftlichen Umfeld. Die möglichen Veränderungen der jeweiligen Randbedingungen, wie Zinssätze, Energiepreise und Kostensteigerungen, müssen in die Analyse einbezogen werden.

Literatur

- *F. Dommann, F. Bitterli, O. Bollhalder* und Dr. *E. Bucher:* Kalkulatorische Abschreibung zur Ermittlung der Selbstkosten bei Elektrizitätswerken, VSE-Bericht 1975.
- Prof. Dr. *D. Vischer* und *V. Bohun:* Die Beurteilung von Projekten anhand der Nutzen-Kosten-Analyse, Schweizerische Bauzeitung, 89. Jg., Heft 52/1971.
- *A.P. Engel,* und *A. Bucher:* Bewertung von bestehenden Wasserkraftanlagen, Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Nr. 33, Zürich 1979.
- Dr. *W. Brauchli:* Die Berücksichtigung des Inflationsproblems in der Wirtschaftlichkeitsanalyse