Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 76 (1984)
Heft: 10

Artikel: Verlustbewertung bei Wasserkraftmaschinen
Autor: Nüssli, Walter / Stanzer, Edgar
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941228

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: 01.08.2025

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

Verlustbewertung bei Wasserkraftmaschinen

Walter Nüssli und Edgar Stanzer

Zusammenfassung

Die Formulierung von technischen Garantien bei Wasserkraftmaschinen sichert dem Besteller den Gegenwert für seine Investition. Dabei kommt der Erfassung und Bewertung von Strömungsverlusten, anderen mechanischen und elektrischen Verlusten grosses Gewicht zu. Über die Bewertung solcher Verluste gibt es keine allgemein anerkannten Empfehlungen oder Vereinbarungen.
Aus der Sicht des beratenden Ingenieurs wird versucht, die Bedeutung von Verlustbewertung und Garantie-Pönalisierung auf Projektierung und Betrieb von Wasserkraftanlagen zu beschreiben und Richtlinien für die Verlustbewertung und Pönalisierung der gebräuchlichen Betriebswerte zu entwerfen.

Summary: Evaluation of losses at water power machinery

The definition of technical guarantees for water power machinery ensures the purchaser the equivalent return value for his investments. For this purpose, the evaluation in terms of money of any hydraulical, mechanical and electrical losses becomes important. However, generally recognized regulations or agreements for the evaluation of these losses do not exist.
The significance of an evaluation of losses and definition of relevant penalties is described and discussed from the point of view of the Consulting Engineer and terms for evaluation and penalization of some customary values are outlined.

Resumé: Evaluation des pertes dans les aménagements hydrauliques

La définition des garanties techniques des machines hydrauliques permet d'aussurer au maître de l'ouvrage une contrevaleur de son investissement. Il faut pour ce faire saisir particulièrement et évaluer les pertes dues à l'écoulement, les pertes mécaniques et électriques. Ils n'existent cependant pas d'accord ou de recommandations générales reconnus concernant l'évaluation du coût de ces pertes.
L'importance de l'évaluation des pertes dans un aménagement hydroélectrique et la définition des pénalités applicables sont décrites et discutées selon le point de vue de l'ingénieur-conseil qui lui prévoit une formulation de valeurs usitées pour l'évaluation et la pénalisation de ces pertes.

Die Formulierung von Garantiewerten für Wasserkraftmaschinen (Turbinen, Pumpen, Generatoren, Motoren) und die entsprechenden Prüf- und Auswertungsmethoden sind in den schweizerischen SEV-Regeln und weltweit anwendbar in den IEC-Codes umschrieben und geregelt.
Beide Regelwerke sagen über eine Bewertung von Verlusten oder über das Prinzip allfällig festzulegenden Pönalen oder Prämien nichts aus, mit Ausnahme, dass die SEV-Regeln eine Rückweisungsklausel bei krasser Unterschreitung von gewissen Garantien enthält.
Die Festlegung von Bewertungskriterien sowie von Pönalen/Prämien bleibt somit der gegenseitigen Vereinbarung zwischen Besteller und Lieferant überlassen, und das gleiche gilt auch für allfällige von den Regelwerken abweichende Festlegungen hinsichtlich des Umfangs der Garantien.

Die Formulierung der Garantien und der zugehörigen Bewertung hängt eng mit der technisch/ökonomischen Projektierung einer Anlage zusammen und gehört in der Regel zum Aufgabenbereich des projektierenden Ingenieurs. Aus dessen Erfahrungsbereich und Optik sind auch die nachstehenden Betrachtungen zu verstehen.
Für das bessere Verständnis dieser Betrachtungen bedeutet:
Verlustbewertung = Evaluation: die Bewertung von garantierten Betriebswerten in der Projektierungs- und Angebotsphase.
Pönalen/Prämien: die Festsetzung von Beträgen bei Nichterfüllung bzw. Überschreitung vertraglich festgelegter Garantien

Sinn von Garantien für Projektierung und Betrieb von Wasserkraftanlagen

Bei der Projektierung von Wasserkraftanlagen sind neben der primären Forderung nach Sicherheit und Betriebstüchtigkeit betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte massgebend. Dazu gehört die wirtschaftliche Minimierung aller Verluste, vor allem der Strömungsverluste der Gesamtanlage, der mechanischen und elektrischen Verluste der elektromechanischen Einrichtungen, aber auch die Optimierung der betrieblichen Verfügbarkeit der Maschinen. Verluste und Verfügbarkeit werden bei der Auslegung und Bemessung der Wasserwege und Maschinen aufgrund von Erfahrungswerten optimiert. Als Kriterien für das Projektierungsresultat gelten der Vergleich von Investition und Nutzen, welche in den Grössen Energieproduktion (kWh/Jahr), Energiegestehungspreis (Währungseinheit/kWh) und Investition pro Leistungseinheit (Währungseinheit/kW inst.) ausgedrückt werden.
Kommt die projektierte Anlage zur Ausführung, werden die gleichen Kriterien auch bei der Bewertung der angebotenen Lieferungen angewendet (Evaluationskriterien), und durch die Formulierung von Garantien mit zugehörigen Pönalen/Prämien wird sichergestellt, dass die geplante Wirtschaftlichkeit auch erreicht wird.
Evaluationskriterien und Ansätze für Pönalen/Prämien für die Unter- bzw. Überschreitung von Garantien sind in den Ausschreibungsunterlagen transparent zu spezifizieren und dienen den Lieferanten als wichtige Grundlage zur Konstruktion der anzubietenden Maschine und für deren Preis.
Für die weiteren Betrachtungen soll das Begriffsgespann «Pönale/Prämie» auf die «Pönale» reduziert werden. Zwar erscheint es logisch und fair, die beiden Begriffe im gleichen Atemzug zu nennen, und die SEV-Regel besagt ja auch unter Artikel 1.6: «Werden bei der Bestellung Pönalen aufgeführt, so sind Prämien gleichen Umfangs vorzusehen.»
Demgegenüber führte die Praxis in den vergangenen Jahren dazu, dass die Prämie fast gegenstandslos wurde. Einmal werden von den Lieferanten die Garantien möglichst hoch, und oft unter teilweiser Inanspruchnahme der Messtoleranz angesetzt, so dass fast keine Fälle des Prämienanspruchs bekannt wurden. Zum anderen widerspricht die Aussetzung einer Prämie den Regeln vieler Kreditgeber, so dass eine solche oft zum vornherein ausgeschlossen werden muss.

Garantien mit oder ohne Pönalen

Dem Verfasser von Ausschreibungsunterlagen (d.h. dem Besteller) steht es also frei, den Umfang der von den Lieferanten zu garantierenden Betriebswerte festzulegen und diese mit einer Pönale zu versehen oder nicht. Dabei sollte der Grundsatz gelten, dass nur dort Pönalen angesetzt wer-

den, wo Garantiewerte durch Konstruktion und Fertigung der Objekte beeinflusst und schliesslich auch gemessen werden können.
In diese Kategorie gehören zum Beispiel:
– Druckverluste an Absperrorganen
– Leistungsabgabe/Aufnahme von hydraulischen und elektrischen Maschinen
– Wirkungsgrade von hydraulischen Maschinen, Generatoren, Motoren sowie Transformatoren.
Bei Garantien für Durchbrenndrehzahl, Drehzahl- und Druckvariationen im Betrieb, Reguliergarantien sowie Axialschub werden üblicherweise keine Pönalen formuliert, bei Nichterfüllung aber oft Änderungen oder Umbauten gefordert.
Im Angebotsvergleich bewertet, aber selten pönalisiert, werden Druckverluste in Rechen und Verteilleitungen sowie Kavitationsgarantien bei hydraulischen Maschinen.
Im Gegensatz zu thermischen Anlagen ist es bei Wasserkraftmaschinen noch nicht üblich geworden, die betriebliche Verfügbarkeit zu bewerten und entsprechende Garantien zu formulieren. Hingegen wird bei hydraulischen Maschinen oft das Betriebsverhalten der Turbinen/Pumpenräder durch spezielle, evtl. langjährige Grantieleistungen vertraglich gesichert.
Ebenso kann das Betriebsverhalten von Trag- und Führungslagern durch Grenzwerte abgesichert werden, und Schwingungsgrenzwerte des Wellenstranges (Generator und Turbine) können festgelegt werden.

Bedeutung von Verlustbewertungen und Pönalen

Besteller und Lieferant würden für die Festlegung der Verlustbewertung und Pönalen verschiedene Ansätze zugrunde legen. Diese könnten wie folgt verallgemeinert werden:
Besteller: Verlustbewertung und Pönalen sind so anzusetzen, dass damit der Kapitalwert des Verlustet abgedeckt wird.
Lieferant: Eine Verlustbewertung soll im Rahmen einer zur Erzielung einer möglichen Verlustverminderung notwendigen Investition liegen. Sie darf den Wettbwerb nicht verfälschen. Pönalen dürfen für den Lieferanten nicht ruinös sein und sollen in einem angemessenen Verhältnis zum Verkaufspreis des Objektes stehen.
Der beratende Ingenieur wird auch hier versuchen, zwischen diesen Standpunkten zu vermitteln, indem er Verlustbewertungen und Pönalen optimal und im Hinblick auf die Gesamtwirtschaftlichkeit des Projektes ansetzt. Dazu gehören neben technischer Sachkenntnis durchaus auch wirtschaftspolitische Überlegungen.
Eine Verlustbewertung zum vollen kapitalisierten Wert der Gesamtanlage mag ihre Berechtigung haben bei der Auslegung von Triebwasserleitungen oder bei der Typenwahl von Turbinen oder einem Absperrorgan (z.B. Drosselklappe oder Kugelschieber) in der Projektphase. Ist jedoch Typ und Nenngrösse in einer Anfragespezifikation festgelegt, führt die gleiche Verlustbewertung unter Umständen zu unverhältnismässig hohen Werten, mit möglicherweise nachteiligen Folgen auf die Zahl der Angebote und damit schliesslich auf den Preis.
Es muss darauf geachtet werden, dass die (Über-)Bewertung eines Betriebswertes nicht auf Kosten eines andern geht (z.B. hochgetriebene Turbinenwirkungsgrade auf Kosten der Verfügbarkeit).
Garantiebewertungen können Qualität und Lebensdauer von Wasserkraftmaschinen beeinflussen. Auch kann damit die Wahl des Herstellers beeinflusst werden.
Gerade weil diese Betrachtungen im Einzelfall so spezifisch und delikat sein können, haben sich wohl auf diesem Gebiet keine festen Regeln etabliert, und beim Vergleich von Garantiepönalen verschiedener Anlagen wird man erstaunliche Unterschiede feststellen.
Unverkennbar ist allerdings der eindeutige Trend von den ehemals eher «symbolischen» Pönalen zur heute weit schärferen kapitalwertkonformen Pönalisierung (siehe Beispiele in Tabelle 1).

Tabelle 1. Einige Beispiele von Turbinen-Wirkungsgradpönalen verschiedener ausgeführter Wasserkraftanlagen.

Anlage	Erstellungsjahr	Installierte Leistung MVA	Jahresproduktion GWh	Wirkungsgradpönale im Verhältnis zum Maschinenpreis
Olivone/CH	1962	104	221	$\Delta\eta$ 0,1% = 0,1% Preis
Ova Spin/CH	1970	54	66	$\Delta\eta$ 0,1% = 0,1% Preis
Matucana/Peru	1972	160	540	$\Delta\eta$ 0,1% = 0,1% Preis
La Batiaz/CH	1973	190	300	$\Delta\eta$ 0,1% = 0,3% Preis
Bremgarten/CH	1975	20	100	$\Delta\eta$ 0,1% = 1,0% Preis
Châtelard II/CH	1977	80	70	$\Delta\eta$ 0,1% = 0,1% Preis
Bhumibol/Thailand	1982	140	135	$\Delta\eta$ 0,1% = 1,0% Preis
El Cajón/Honduras	1985	360	1300	$\Delta\eta$ 0,1% = 1,0% Preis
Naher Osten	1986	950	2420	$\Delta\eta$ 0,1% = 2,5% Preis

Verlustbewertung und Pönalisierung ausgewählter Betriebswerte

Als Richtline für die Verlustbewertung und Pönalisierung mögen gelten:

– Die Ausschreibungsunterlagen sollen eindeutig festlegen, welche Betriebs-/Garantiewerte wie hoch bewertet werden. Das gleiche gilt auch für Pönalisierung bei Nichterfüllen der Garantien. Auch sollen die Ausschreibungen genaue Vorschriften über die Messmethoden und die anzuwendenden Normen enthalten.
– Für das gleiche Projekt sollen Verlustbewertung einerseits bzw. Pönalen andererseits für verschiedene Objekte übereinstimmen (1 kW bleibt 1 kW, ob der Verlust in der Turbine, im Generator oder im Absperrorgan entsteht). Begründete Ausnahmen dieser Regel sind dabei möglich.
– Die Bewertungen einzelner Betriebswerte sollen untereinander ausgewogen sein.
– Preisbelastungen aufgrund von Verlustbewertungen sollten im vernünftigen Verhältnis zum Angebotspreis stehen und eher zurückhaltend angesetzt werden, da andernfalls Bewerber vom Anbieten abgeschreckt werden, die Konkurrenz verringert würde und ausserdem spekultativ hohe Garantien provoziert würden.

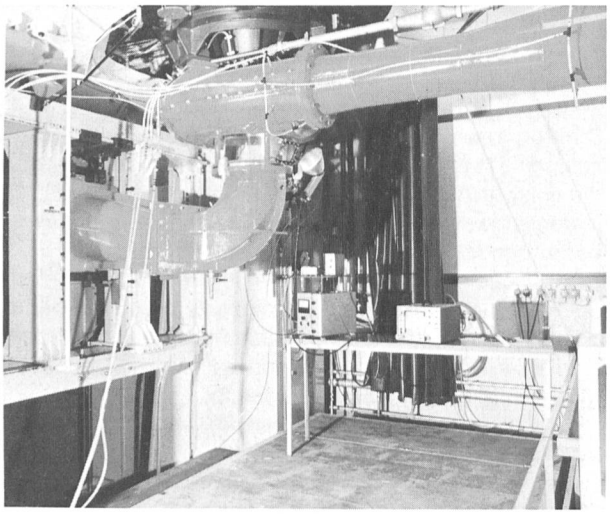

Bild 1. Modellturbine El Cajón auf dem Modellprüfstand der Ateliers de Vevey. Die Modellversuche dienten unter anderem der vertraglichen Messung der garantierten Wirkungsgrade.

Anwendungsbeispiel. Verlustbewertung für eine Francisturbine für ein Kraftwerks-Erweiterungsprojekt in Thailand.

Turbinenleistung	135 MW
Jahresproduktion	135 GWh

Berechnung des Kapitalwertes der Jahresproduktion:

$$\text{Kapitalwert} = \frac{\text{Jahresproduktion} \times \text{Energiepreis}}{\text{Kapitalisierungsfaktor}}$$

$$= \frac{135 \times 10^6 \times 0{,}06}{0{,}11} = 73{,}6 \text{ Mio sFr.}$$

Somit entspricht:

1% Energieverlust = 1% Kapitalwert = 736000 sFr.

In der Ausschreibungsspezifikation wurden für den Wirkungsgrad bzw. die Leistung folgende Bewertungen festgelegt.

Für die Evaluation in der Angebotsphase:

1% Verlust ≙ 184000 sFr. Preisbelastung ≙ 0,25 Kapitalwert

Für die Pönalisierung bei Nichterreichung der Garantien:

1% Manko ≙ sFr. 368000 ≙ 0,50 Kapitalwert

Dieser letztere Wert entspricht etwa 10% des Turbinenpreises.

– Pönalen für Nichterfüllen der Garantien dürfen hingegen schärfer angesetzt werden. Damit werden die Anbieter einerseits gezwungen, vorsichtig zu garantieren, andererseits soll der Besteller bei Nichterfüllung (der notabene vom Lieferanten angebotenen Garantien) für diese effektive Einbusse angemessen entschädigt werden.
– Verlustbewertung und Pönalen sind auf die den Energie-/Leistungsverlusten entsprechenden kapitalisierten Produktionskosten zurückzuführen und in Berücksichtigung obiger Richtlinien mit entsprechenden Koeffizienten zu versehen.

Wirkungsgrade von Turbinen/Pumpen

Der heute üblicherweise zu garantierende «mittlere gewichtete Wirkungsgrad» repräsentiert das jährliche Betriebsregime der hydraulischen Maschine in bezug auf Gefälle, Belastung und Betriebsdauer. Deshalb können die Unterschiede bzw. Abweichungen des «mittleren gewichteten Wirkungsgrades» direkt in Beziehung zur entsprechenden kapitalisierten Produktion gesetzt werden (siehe Beispiel gemäss Tabelle 2).
Da heute in den meisten Fällen die Wirkungsgradgarantien aus Modellversuchen auf die Grossausführungen umgerechnet werden, sind die Garantieangaben der Lieferfirmen im allgemeinen gut abgesichert, so dass die Pönale scharf, eventuell bis zur vollen Kompensation des kapitalisierten Produktionsverlustes angesetzt werden darf. Bevor eine solche Pönale angerechnet wird, hat der Lieferant in der Regel ohnehin die Chance (bzw. Verpflichtung), seine Maschine so zu verbessern, dass die Garantie erreicht wird.

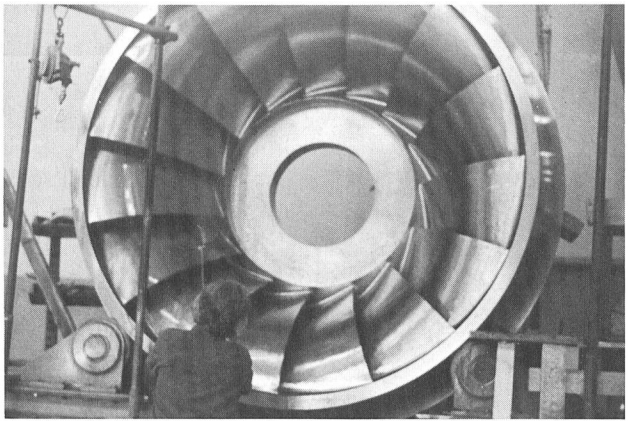

Bild 2. Francislaufrad *Ds* = 2475 mm für das Wasserkraftwerk El Cajón in Honduras. Werkaufnahme Ateliers de Vevey

Für die Wirkungsgradbewertung in der Angebotsphase sollte hingegen aus den weiter oben erwähnten Überlegungen der Ansatz reduziert werden. Ein Gesichtspunkt dazu kann beispielsweise sein, die in den Angeboten erwarteten möglichen Abweichungen im «mittleren gewichteten Wirkungsgrad» nicht höher als 10 bis 20% des Lieferpreises zu bewerten. Erfahrungsgemäss sind heute allerdings Unterschiede in den Wirkungsgradgarantien bei den international etablierten Lieferanten sehr gering (wenige Zehntelprozent).

Wirkungsgrad von Generatoren, Motoren, Transformatoren

Im Gegensatz zu den hydraulischen Maschinen sind die Verluste elektrischer Maschinen genau berechenbar, und es ist möglich, den Wirkungsgrad für jeden Betriebszustand mit einer in den Normen festgelegten Toleranz anzugeben. Auch sind die Möglichkeiten zur Verlustreduzierung und schliesslich zur Verlustmessung technisch definiert.
Der beratende Ingenieur legt deshalb mit der Formulierung der Wichtungsformel die Auslegung der Maschine praktisch fest. Diese Wichtungsformel soll für die gleiche Anlage natürlich für die hydraulische und die elektrische Maschine übereinstimmen.
Die hie und da praktizierte Methode, in der Ausschreibung einen unteren Garantiewert vorzuschreiben, zielt zusätzlich auf eine hohe Qualität von Material und Fertigung, setzt aber voraus, dass der Verfasser der Spezifikation in der Lage ist, die elektrische und die mechanische Auslegung der Maschine zu überblicken.
Aus obigen Erwägungen bleiben Garantieangaben bei elektrischen Maschinen in der Regel in engen Grenzen, was dazu führen kann, Bewertung und Pönalisierung hoch anzusetzen. Trotzdem sollte nicht ohne Zwang vom Prinzip –

Tabelle 2. Zur Ermittlung des «mittleren gewichteten Wirkungsgrades» (Auszug aus einer internationalen Spezifikation).

Turbine Efficiency

The turbine efficiency guarantee is met if the weighted average efficiency of the turbine as computed from the effectively measured values on the model is not less than the weighted average efficiency as guaranteed and indicated by the Contractor in Part IV, Data Schedules.

The weighted average efficiency will be computed in accordance with IEC Publication 41, Chapter II, Clause 2.8.2, using the following grid of weighting coefficients and formula:

Net head (m)	77.2	70.0	66.4	60.0	42.6	Total
weighting coeff. c_i at						
100 % load	1	6	8	4	1	20
90 % load	1	7	10	6	1	25
80 % load	1	9	12	7	1	30
60 % load	1	4	6	3	1	15
40 % load	1	2	4	2	1	10

The partial loads indicated shall be the percentage of maximum output under the corresponding net head.

The "weighted average efficiency" to be guaranteed by the Contractor is defined as follows:

$$\text{weighted average} = \frac{\Sigma c_i \cdot \eta_i}{100}$$

η_i being the individual efficiency and c_i the corresponding weighting coefficient according to the above chart.

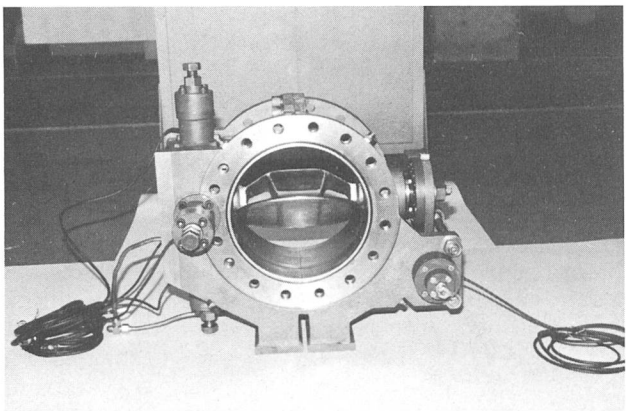

Bild 3. Modell einer Drosselklappe, Durchmesser 300 mm, zur Bestätigung des berechneten und garantierten Druckverlusts sowie der hydraulischen Kräfte.

kW bleibt 1 kW – abgewichen werden, das heisst für die hydraulische und elektrische Maschine der gleichen Anlage gleiche Ansätze anzuwenden.
Wenn auch Unterschiede in den angebotenen Wirkungsgraden oft gering sind, kann deren Bewertung wegen der in der Regel ebenfalls geringen Preisunterschiede ebenfalls grosse Bedeutung zukommen.

Leistung von Turbinen

Die Leistungsfestlegung bzw. -optimierung ist üblicherweise Sache des projektierenden Ingenieurs. Die Leistung der Turbine wird deshalb normalerweise in den Submissionsunterlagen fixiert und unterliegt nicht mehr der Angebotsevaluation.
Anders kann der Fall bei Erneuerungs- bzw. Erweiterungsprojekten liegen, wo innerhalb gegebener Platzverhältnisse sowie hydrologischer und elektrischer Randbedingungen nach der grösstmöglich installierbaren Leistung gefragt werden kann. In einem solchen Fall sind für die Leistungsbewertung nicht nur, wie bei den Wirkungsgraden, die Jahresarbeit, sondern allenfalls auch Leistungsprämien bzw. Kosten für entsprechende Ersatzleistungen in Rechnung zu setzen. Dabei kann der Bewertung der Leistung eine gegenüber dem eigentlichen Maschinenpreis dominierende Bedeutung zukommen.
Für die Ansetzung von Pönalen bei Nichterfüllen der Leistungsgarantie sind im Prinzip die gleichen Gesichtspunkte wie bei den Wirkungsgraden anzuwenden. Angesichts der gravierenden Fehlleistung eines Lieferanten bei Nichterfüllen einer Leistungsgarantie seiner Lieferung dürfen bei der Pönalisierung scharfe Massstäbe angelegt werden, auch wenn die effektive Einbusse an erzeugter Energie evtl. nicht so sehr ins Gewicht fällt.

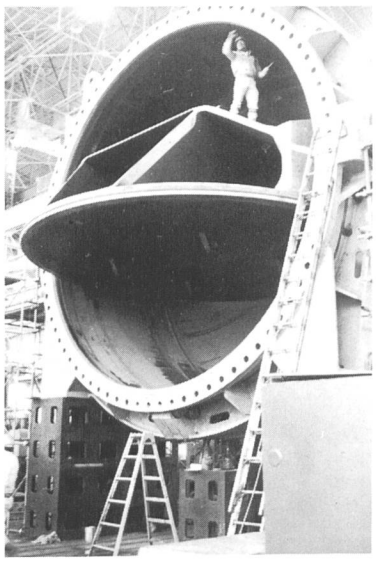

Bild 4. Werkaufnahme einer Drosselklappe, Durchmesser 6,0 m, für ein Wasserkraftwerk im Nahen Osten.

Leistung von Generatoren, Motoren und Transformatoren

Da die Leistung für Generator/Motor und Transformator das Resultat der hydraulischen Gegebenheiten darstellt und bei der Auslegung Turbine/Generator optimiert werden muss, ist eine Evaluation nicht nötig.
Einzig der unter der Turbinenleistung erwähnte Fall von Umbauten kann auch bei den elektrischen Maschinen zur Evaluation der besten Leistungsausnützung führen.
Bei den Garantiewerten sind generell dieselben Überlegungen gültig wie beim Wirkungsgrad. Bei den elektrischen Maschinen setzt jedoch die Temperaturbegrenzung der Leistungsumwandlung eine Grenze und Temperaturmaxima und ihre Schwankungen (Betriebsart) beeinflussen die Lebensdauer der Maschine massgeblich.
Bei der Beurteilung der Leistungserfüllung sind daher die Höhe der ebenfalls zu garantierenden Erwärmungen sorgfältig in Betracht zu ziehen.

Strömungsverluste bei Absperrorganen

Der Bewertung der Strömungsverluste von Absperrorganen kommt in der Projektierungsphase vorrangige Bedeutung zu. Je nach Aufgabenstellung des Absperrorgans wird der planende Ingenieur aufgrund bekannter Verlustziffern Typ und Durchmesser des Abschlussorgans festlegen. Im Anwendungsbereich, wo z.B. Kugelschieber oder Drosselklappen möglich sind, ist der Vergleich zwischen dem verlustfreien aber teuren Kugelschieber und der Drosselklappe besonders interessant und wichtig.
Für die Festlegung der Bauart des Absperrorgans sowie dessen Grösse müssen die Unterschiede in den Strömungsverlusten in Relation zu den Gesamtanlagekosten kapitalisiert werden. Dabei ist es nötig, die Unterschiede in der Jahresenergieerzeugung entsprechend dem erwarteten Durchflussregime (in Übereinstimmung mit dem Turbinenbetrieb – siehe Tabelle 2) zu ermitteln, und die Kostendifferenzen zwischen den untersuchten Bauarten müssen einigermassen bekannt sein (siehe Beispiel in Tabelle 3).

Tabelle 3. Vergleichsdaten zweier Absperrorgane für H = 200 m.

Bauart des Absperrorgans	Verlustziffer in offener Stellung	kapitalisierter Wert des Energieverlustes	Kosten des Absperrorgans
Kugelschieber D = 2300 mm	0	sFr. 0	sFr. 1 450 000
Drosselklappe (Doppeldecker) D = 2600 mm	0,08	sFr. 400 000	sFr. 900 000

Für diese Verlustbewertung kann deshalb gleichgesetzt werden

$$\frac{\text{Verlustenergie des Absperrorgans}}{\text{Fallenergie}} = \text{Wirkungsgrad}$$

und demzufolge sind in der gleichen Gesamtanlage auch die gleichen Ansätze für Verlustbewertung und Pönalisierung wie für die beteiligten Maschinen zu verwenden.
Bei grossen Absperrorganen ist es auch üblich, die Leckverluste in geschlossener Stellung garantieren zu lassen und diese Garantien zu pönalisieren.

Adresse der Verfasser: *Walter Nüssli,* Ing. HTL, und *Edgar Stanzer,* Ing. HTL, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, CH-5401 Baden.