Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 50 (1959)

Heft: 13

Artikel: Bisherige Praxis der Modellturbinenuntersuchungen an Stelle von Abnahmeversuchen

Autor: Dziallas, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059466

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: 22.01.2026

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

précédemment, en particulier pour la nature des garanties de rendement et de puissance, l'époque des essais, le contrôle de similitude.

Les paragraphes relatifs à la conduite des essais, détaillant la suite des opérations à effectuer et fixant les règles concernant les précautions à prendre au cours des mesures et la précision des relevés, sont dans le cadre des remarques formulées précédemment.

Le principe de l'égalité des droits entre les deux parties est nettement posé. En outre, s'il envisage à plusieurs reprises le choix d'un chef d'essai intervenant en qualité d'expert et jouant le rôle d'arbitre, le projet de code n'en fait pas une obligation.

Les divergences que l'on peut noter entre le projet de code international et les conditions contractuelles exposées précédemment concernent surtout les modalités d'essai qui, dans le document présent ne sont pas obligatoirement précisées au contrat. C'est là sans doute une omission et nous estimons que l'énumération des conditions d'essai (et jusqu'au choix de la station) aurait intérêt à être précisée dès l'appel d'offre. Cela éviterait sans doute les discussions qui ne manqueront pas de se produire à la fin des essais lorsqu'il s'agira de définir l'erreur de mesure d'après les indications du chapitre 7 du projet de code.

Signalons en outre l'absence de clauses contractuelles concernant la cavitation sur le modèle réduit, et, en contrepartie, l'adjonction d'un essai de «rendement relatif» (index test) sur le prototype destiné à définir avec une meilleure précision la came de conjugaison entre les ouvertures du distributeur et l'orientation des pales des roues, de turbines Kaplan.

V. Conclusions

Ce rapide examen met en évidence un bon accord entre les clauses que pourrait envisager une Société exploitant à la fois des usines hydroélectriques et une station d'essai sur modèle réduit, et celles prévues au projet de code international.

Il est à souhaiter que ce document, après avoir subi quelques retouches de détail inévitables, reçoive l'adhésion des divers comités nationaux représentés au sein de la Commission Electrotechnique Internationale. Ainsi, l'usage, actuellement encore limité, des essais sur modèle réduit se généralisera. Les essais industriels n'en perdront pas pour autant de leur intérêt; complétés de relevés auxiliaires, tels que l'exploration du champ des vitesses à la sortie de la roue ou des mesures de grandeurs en liaison avec les phénomènes de cavitation, ils permettront dans tous les cas où les conditions de mesure sont favorables, de préciser l'importance des effets d'échelle.

C'est dans cette voie que s'est orientée l'Electricité de France, qui, grâce à ses importantes équipes d'essais industriels et à sa station d'essais, étudie dès à présent, sur modèle réduit, les performances d'un groupe bulbe ayant fait l'objet d'essais industriels exceptionnellement détaillés.

Adresse de l'auteur:
M. *P. Bourguignon*, ingénieur en chef au Service des études et recherches d'Electricité de France, Chatou (Seine et Oise) (France).

Bisherige Praxis der Modellturbinenuntersuchungen an Stelle von Abnahmeversuchen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung vom 13. Februar 1959 in Zürich,
von *R. Dziallas*, Heidenheim

621.224.001.57

Nach einem kurzen Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Modellturbinen-Untersuchung wird als spätere Diskussionsgrundlage die Durchführung einer Modellturbinen-Untersuchung an Stelle eines Abnahmeversuchs angegeben. Es werden einige Bedingungen für solche Untersuchungen zusammengestellt und diskutiert. Zum Schluss werden einige Vorschläge für die neuen internationalen Empfehlungen zur Durchführung von Modellturbinenversuchen an Stelle von Abnahmeversuchen im Wortlaut angeführt.

Après un bref historique des investigations sur modèles de turbines, l'auteur décrit l'exécution d'une telle investigation au lieu d'un essai de réception, comme base pour de plus amples discussions. Il résume et examine quelques-unes des conditions de ces investigations. Pour terminer, il énumère des propositions en vue des nouvelles Recommandations internationales pour l'exécution d'essais sur modèles de turbines tenant lieu d'essais de réception.

Die stürmische Entwicklung von Wasserturbinen setzte um die Jahrhundertwende ein, als durch die Möglichkeit der elektrischen Kraftübertragung der Bau grösserer Einheiten und durch die direkte Kupplung von Generator und Turbine die Steigerung der spezifischen Drehzahlen notwendig wurden. Diese Entwicklung liess sich auf die Dauer nicht durch Versuche an der Grossausführung und beim Kunden durchführen. Man benötigte dazu Modellversuche, so dass heute viele Modellversuchsanstalten schon auf ein ehrwürdiges Alter zurückblicken können.

Die Modellversuche dienten

a) der allgemeinen Entwicklung von Lauf- und Leiträdern, Spiralgehäusen und Saugkrümmern;

b) dem Nachweis der geforderten Eigenschaften einer bestimmten, noch zu bauenden Grossausführung hinsichtlich Wirkungsgrad, Kavitation und Durchgangsdrehzahl.

Die an zweiter Stelle genannten Versuche dienten dem Lieferanten als Nachweis dafür, dass die von ihm im Vertrag für die Grossausführung eingegangenen Garantien erfüllt werden können. Der Modellversuch war gewissermassen für den Lieferanten eine Rückversicherung gegen das Risiko, das mit dem Bau so grosser Einheiten verbunden ist.

In den letzten Jahrzehnten hatte man erfahren, dass in bestimmten Grenzen die Übereinstimmung zwischen Modellversuch und Grossausführung ausgezeichnet ist. Der Lieferant wird in der Regel sei-

nem Modellversuch mehr Glauben schenken als einer komplizierten und umfangreichen Messung an der Grossausführung mit den vielen, nicht zu vermeidenden Fehlermöglichkeiten. Es liegt daher nahe, wenn der Modellversuch für den Lieferanten eine ausreichende Sicherheit für die Erfüllung der Garantien bietet, dem Kunden den gleichen Modellversuch als Abnahmeversuch vorzuschlagen.

Der Modellversuch als Abnahmeversuch hat folgende Vorteile:

a) Der Betrieb der Grossausführung wird nicht gestört, Stillstandszeiten für den Ein- und Ausbau der Messanordnung werden vermieden.

b) Durch einen Abnahmeversuch an der Grossausführung erhält man nur einen Ausschnitt aus dem gesamten möglichen Betriebsbereich. Eine Variation der Fallhöhe ist meistens nicht möglich, besonders, wenn sich die richtigen Verhältnisse erst nach Jahren einstellen. Beim Modellversuch ist die Untersuchung des gesamten Betriebsbereiches selbstverständlich.

c) Der Modellversuch ist in der Regel billiger. Erhebliche Kosten können eingespart werden, besonders wenn die Belastung der Maschinen nicht durch das elektrische Netz, sondern durch besonders angefertigte Wasserwiderstände erfolgen muss.

Jede grössere Turbinenfabrik hat solche Versuche an Modellturbinen schon als Abnahmeversuche durchgeführt. Trotzdem erscheint es zweckmässig, eine solche Untersuchung kurz zu schildern:

Der oder die Beauftragten des Kunden werden eingeladen, an den Versuchen teilzunehmen. Die Modellturbine ist aufgebaut, die Vorversuche sind abgeschlossen. Die Kurvenblätter der Ergebnisse sind fertiggestellt und werden zusammen mit einer Beschreibung der Versuchsanordnung und einer Zusammenstellung der Umrechnungsformeln überreicht. Nach einer Besichtigung der Versuchsanordnung werden die üblichen und möglichen Kontrollen der Versuchsanordnung durchgeführt.

Die Wassermessung erfolgt bei offenen Kreisläufen meistens durch Überfälle, bei geschlossenen Kreisläufen durch Düsen oder Blenden. Die Nullanzeige der Messvorrichtung wird auf jeden Fall kontrolliert. Eventuell wird die vorgelegte Eichtabelle des Messinstrumentes in einigen Punkten nachgeprüft. Das kann durch einen Meßschirm, durch eine Behältermessung oder durch eine geeichte Düsenmessung geschehen.

Zur Gefällsmessung dienen U-Rohre, Hg-Manometer, Schwimmer, Kolben- oder Federmanometer. Die Eichungen der Federmanometer werden nachgeprüft. Die Gewichte der Kolbenmanometer werden, wenn nicht amtlich geeicht, nachgewogen, die Durchmesser nachgemessen. Die Nullpunkte der Schwimmer werden nachgeprüft. Das Gleiche gilt auch für die Nullpunkte der Skalen und für evtl. benutzte Fixpunkte.

Die Drehzahl wird mit Zählern gemessen. In der letzten Zeit werden ausschliesslich elektronische Zähler verwendet. Eine Kontrolle durch mechanische Zähler ist jederzeit möglich. Auch die Stich-Drehzähler finden zur Kontrolle Anwendung.

Zur Drehmomentenmessung werden mechanische oder elektrische Bremsen verwendet. Hiebei wird eine Kontrolle der Nullpunkteinstellung im Stillstand, eine Nachprüfung der Empfindlichkeit der Einstellung und eine Nachprüfung der Gewichte (oder das Vorlegen der Eichprotokolle) für ausreichend gehalten. Gelegentlich wird auch eine Nachprüfung der Empfindlichkeit bei drehender Turbinenwelle durchgeführt. Die Lagerung der Turbinenwelle ist so ausgebildet, dass das Lagerreibungsmoment als Nutzmoment mitgemessen wird.

Nach diesen Kontrollen der Versuchsanordnung werden die Versuche begonnen. Es werden die vom Vertreter des Kunden vorgeschlagenen Kontrollpunkte eingestellt und gemessen. Meistens begnügt man sich mit 8...12 Punkten. Die Auswertung erfolgt auf einem vorbereiteten Blatt direkt im Anschluss an jeden Versuch. Versuchspunkte, die gegenüber den Vorversuchen mehr als 0,2% Wirkungsgradunterschied aufweisen, werden wiederholt.

Anschliessend an die Versuche werden wieder die Nullpunkteinstellungen kontrolliert und eventuell noch weitere vom Kunden gewünschte Kontrollen durchgeführt. Darauf wird die Versuchsgenauigkeit und die Grösse der zu erwartenden Aufwertung (Einfluss der verschiedenen Reynolds-Zahlen) diskutiert und ein Abnahmeprotokoll unterzeichnet. Über die gesamten Versuche wird ein Bericht angefertigt, dem das Abnahmeprotokoll als Fotokopie beigefügt wird.

Relativ einfach lassen sich den Wirkungsgradversuchen Versuche zur Bestimmung der Durchgangsdrehzahl bei Freistrahl- und Francisturbinen mit niedriger spezifischer Drehzahl anschliessen. Bei Francisturbinen mit höherer spezifischer Drehzahl und bei Kaplanturbinen muss man den Einfluss der Kavitation auf die Durchgangsdrehzahl berücksichtigen.

Die Nachprüfung der Kavitationseigenschaften, die bei Kaplanturbinen notwendig und bei Francisturbinen zweckmässig ist, erfordert recht beträchtliche Aufwendungen, besonders, wenn sie mit den bei Wirkungsgraduntersuchungen üblichen Modellturbinen grösserer Abmessungen durchgeführt werden sollen. Um die Versuchskosten herunterzusetzen, verwendete man daher für die Kavitationsversuche Modellturbinen mit kleineren Laufraddurchmessern.

Obwohl es natürlich selbstverständlich ist, dass Modellversuche nur dann einwandfreie Ergebnisse liefern, wenn sie an Modellen ausgeführt werden, die genau geometrisch ähnlich der Grossausführung sind, liess man in der Vergangenheit häufig beträchtliche Abweichungen zu. So beschränkte man sich bei Francisturbinen häufig nur auf die geometrische Ausbildung von Laufrad und Saugrohr und liess Abweichungen an Leitrad und Spiralgehäuse zu. Manchmal verwendete man anstelle des Spiralgehäuses auch eine offene Kammer.

Fig. 1 zeigt die Wirkungsgrade einer Francis-Modellturbine, die bei gleichbleibendem Laufrad, Leitrad und Saugrohr das eine Mal mit einem weiten, das andere Mal mit einem engen Spiralgehäuse

und schliesslich noch ohne Spiralgehäuse im offenen Einbau untersucht wurde.

Die Abweichungen zwischen ausreichend bemessenem Spiralgehäuse und offenem Einbau sind nicht so gross, wie man annehmen möchte. Trotzdem wird in den Regeln gefordert, dass die geometrische Modellähnlichkeit vom Einlauf bis zum Auslauf gewährleistet wird.

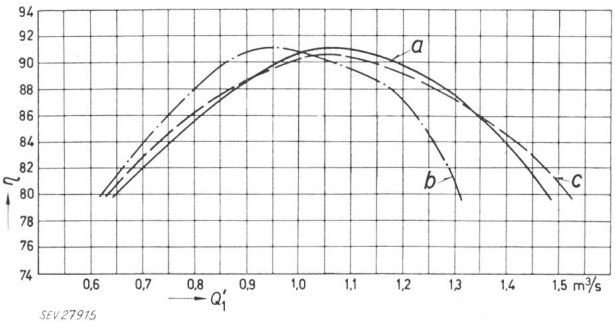

Fig. 1

Einfluss verschiedener Leitvorrichtungen

Wirkungsgrade von Francis-Modellturbinen mit gleichem Laufrad und Saugrohr und verschiedenen Leitvorrichtungen
a mit zugehörigem weitem Spiralgehäuse; *b* mit engem Spiralgehäuse; *c* im offenen Einbau
η Wirkungsgrad; Q_1' spezifische Wassermenge

Fig. 2 gibt den Wirkungsgradvergleich von zwei grossen Kaplanturbinen und der zugehörigen Modellturbine. Die Wirkungsgrade sind über der Einheitswassermenge Q_1'[1]) aufgetragen. Die zugehörigen Einheitsdrehzahlen n_1'[1]) (Fallhöhen) sind etwas verschieden, um auch diesen Einfluss darzustellen. Bei den beiden Anlagen liegt die Kavitationsgrenze bei verschiedener Einheitswassermenge Q_1'. Bei Überschreitung dieser Grenzwassermenge tritt ein Wirkungsgradabfall auf.

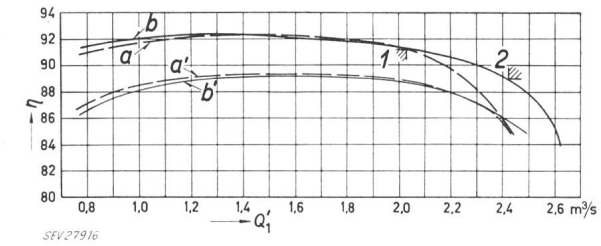

Fig. 2

Wirkungsgradvergleich von geometrisch ähnlichen Kaplanturbinen

Wirkungsgrade der Grossausführung *a* und *b* und zugehörige Modellwirkungsgrade *a'* und *b'*
a Laufraddurchmesser $D \approx 6{,}0$ m; *b* Laufraddurchmesser $D \approx 7{,}0$ m; Modellaufraddurchmesser $D_m = 0{,}72$ m
1 Kavitationsgrenze bei *a*; *2* Kavitationsgrenze bei *b*
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

---

[1]) $Q_1' = \dfrac{Q}{\sqrt{H} \cdot D_1^2}$

mit Q Schluckfähigkeit der Grossausführung [m³/s]
H Fallhöhe [m]
D_1 Laufraddurchmesser [m]
Q_1' Schluckfähigkeit der Einheitsturbine mit 1 m Laufraddurchmesser bei der Fallhöhe von 1 m

$$n'_1 = \frac{n \cdot D_1}{\sqrt{H}}$$

n Drehzahl der Grossausführung
n_1' Drehzahl der Turbine mit 1 m Laufraddurchmesser bei der Fallhöhe von 1 m

Das Beispiel lässt erkennen, wie schwer es ist, ohne Kenntnis der gesamten Betriebsverhältnisse die Wirkungsgrade richtig zu vergleichen.

Trotz aller Problematik der Übertragung der Kavitationsversuche vom Modell auf die Grossausführung liefert der Kavitationsversuch dem Lieferanten auch für die Grossausführung geltende befriedigende Ergebnisse.

Durch die grössere Reynolds-Zahl bei der Grossausführung stellt sich gegenüber dem Modellversuch eine Minderung der hydraulischen Reibungsverluste und damit eine Erhöhung des Wirkungsgrades ein. Von den vielen Aufwertungsformeln wurden bisher die von *Ackeret* und von *Moody* benützt.

In der Voithschen Versuchsanstalt untersuchen wir Modellaufräder für Kaplanturbinen mit 257 und 721 mm Durchmesser. Die dafür nach unseren Erfahrungen in Frage kommende Aufwertung entspricht ziemlich genau der Aufwertung nach *Moody* (ohne Fallhöheneinfluss). Die Wirkungsgradlinien, über der Schluckfähigkeit aufgetragen, werden etwas flacher.

Den Aufwertungsbetrag der Wirkungsgrade von dem grösseren Modellaufrad bis zur Grossausführung errechnen wir bisher bei den Abnahmeversuchen sowohl nach der Formel von *Ackeret* als auch nach der Formel von *Moody*. Wir erhalten dann gewissermassen eine obere und eine untere Grenze des zu erwartenden Wirkungsgrades. Die garantierten Wirkungsgrade müssen unterhalb oder innerhalb dieses Bereiches liegen. Um welche Beträge es sich grössenmässig bei einer *Kaplanturbine* handelt, sei für folgende Verhältnisse angegeben:

Der optimal höchste Modellwirkungsgrad betrage 92,0 %. Der höchste Modellwirkungsgrad entsprechend der Auslegungsfallhöhe der Grossausführung betrage 89,3 %. Der Modellmaßstab sei

$$D_{Modell} : D_{Grossausführung} = 1 : 10$$

und das Verhältnis von

$$H_{Modell} : H_{Grossausführung} = 1 : 3.$$

Bei Kaplanturbinen kann man nun den Aufwertungsbetrag aus dem Optimalwirkungsgrad oder aus dem maximalen Wirkungsgrad bei der Auslegungsfallhöhe errechnen (Fig. 3).

Man erhält nach *Ackeret:*

mit $\eta_{opt.}$ $\Delta\eta = 1{,}7$ %
mit $\eta_{max\text{-}Auslegung}$ $\Delta\eta = 2{,}3$ %

nach *Moody:*

mit $\eta_{opt.}$ $\Delta\eta = 3{,}0$ %
mit $\eta_{max\text{-}Auslegung}$ $\Delta\eta = 4{,}0$ %

Berücksichtigt man noch bei der Grossausführung die mechanischen Verluste in der Grössenordnung von $\approx$ 0,5 %, so sind unter Benützung der Mittelwerte der Aufwertung Turbinenwirkungsgrade der Grossausführung

im Optimum von 93,8...94,0 %
bei $\eta_{max\text{-}Auslegung}$ von 91,2...92,0 %

zu erwarten und auch zu erreichen.

Man ersieht daraus, dass die durch die Aufwertung hineinkommende Unbestimmtheit zwar vorhanden, aber auch nicht grösser ist als die bei den Abnahmeversuchen zu erwartende Messungenauigkeit.

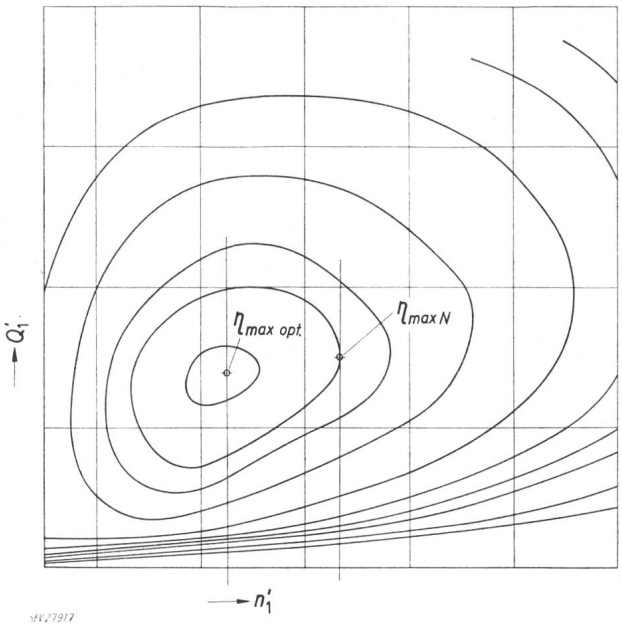

Fig. 3
Skizze zur Darstellung der Lage von Wirkungsgraden
$\eta_{max\ opt.}$ Optimum des maximalen Wirkungsgrades
$\eta_{max\ N}$ maximaler Wirkungsgrad bei Nenn- oder Auslegungsfallhöhe
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

Bei den bisherigen Modellabnahmeversuchen bestand ein gewisses Vertrauensverhältnis zwischen Abnehmer und Lieferant. Es wurde daher von einem eingehenden Vergleich der Masse von Modell und Grossausführung in der Regel abgesehen.

Bei den grossen Abmessungen von Kaplanflügeln und vor allem von Francislaufrädern stellen die Abgüsse so grosse Wertobjekte dar, dass man sich scheut, die Abgüsse wegen irgendwelchen kleinen Formungenauigkeiten zu verwerfen. Auch ist häufig die Rücksicht auf die Lieferzeit für die Annahme entscheidend. Es erhebt sich in diesem Falle die Frage, welche Ungenauigkeiten sind noch zulässig und wann muss evtl. der Modellversuch mit den Istabmessungen wiederholt werden. Daher ist in den vorgeschlagenen internationalen Modellabnahmeregeln die Möglichkeit einer eingehenden Kontrolle vorgesehen worden. Dabei wurde bewusst darauf verzichtet, all das zu kontrollieren, was der Hersteller bei der Fertigung nachprüfen muss. Man beschränkt sich vielmehr auf die Angabe von einigen wesentlichen Stichproben.

Neu und einschneidend bei dem neuen Entwurf sind folgende Vorschriften:

a) Die Modelle müssen hydraulisch glatt sein, damit ihr Wirkungsgrad nach den bestehenden Aufwertungsformeln mit dem der ebenfalls hydraulisch glatten Grossausführung verglichen werden kann.

b) Die Modelle müssen vom Einlauf bis zum Auslauf der Grossausführung geometrisch ähnlich sein.

c) Die kleinsten noch möglichen Modellaufraddurchmesser werden vorgeschrieben. Um bestehende Versuchsanstalten nicht auszuschalten, ist man allerdings bis an die untere Grenze des zulässigen Laufraddurchmessers gegangen.

d) Kontrollen der Messinstrumente vor allem der Wassermessung werden beim Modellversuch für notwendig gehalten.

e) Eine vergleichende Kontrolle der Herstellungsgenauigkeit von Modell und Grossausführung ist vorgesehen.

Zur besseren Beurteilung der Vorschläge sollen einige der wichtigsten auszugsweise im nachstehenden angeführt werden:

Wassermessung

Der Wasserstrom wird mit einer der in den Empfehlungen aufgeführten Methoden gemessen. Es muss möglich sein, die Messanordnung unter Versuchsbedingungen zu eichen. Vor allen Dingen sollten bei diesen Eichungen die Absolutdrücke identisch gleich den Absolutdrücken bei den Versuchen sein, um Fehler bei der Wassermessung durch entweichende Luftblasen zu vermeiden.

Fallhöhengrenzen

Die Fallhöhe in der Versuchsanordnung für Abnahmeversuche am Modell sollte innerhalb der folgenden Grenzen liegen:

Bei Francis-, Propeller- und Kaplanturbinen

$$H_{Modell} \geqq H_{Grossausführung}$$

Bei Freistrahlturbinen

$$H_{Modell} \geqq 30 \text{ m}$$

Modellmaßstab und kleinste Modellgrößen

Für die Modellturbinen werden kleinste Laufraddurchmesser und für den Modellmaßstab kleinste Werte vorgeschrieben, um die erforderliche Genauigkeit in der Herstellung und der Oberflächengüte zu erreichen, um die Absolutbeträge der Wirkungsgradaufwertung zu verkleinern und um vernünftige Reynoldssche Zahlen zu erreichen. Es wird folgendes vorgeschrieben:

Bei Francisturbinen

$$D_4 \geqq 0{,}250 \text{ m}$$

Bei Kaplanturbinen

wenn $H \geqq 4$ m $\qquad D_1 \geqq 0{,}25$ m

wenn $H = 1...4$ m $\qquad D_1 \geqq \dfrac{0{,}50}{\sqrt{H}}$ m

Dabei sind H und D_1 in m einzusetzen

Bei Freistrahlturbinen

Becherbreite $B \geqq 80$ mm

Modellähnlichkeit

Geometrische Ähnlichkeit von Modell und Grossausführung

Die Modellturbine muss vom Eintritt bis zum Austritt in allen hydraulisch wirksamen Teilen der Grossausführung geometrisch ähnlich sein. Das gilt auch für Lauf- und Leitradspalte. Wesentliche Ab-

weichungen von dieser Forderung sind nur im gegenseitigen Einvernehmen möglich und müssen vor den Versuchen festgelegt werden.

Oberflächenbeschaffenheit

Die hydraulisch wirksamen Oberflächen der Modellturbine sollen so hergestellt werden, dass sie als hydraulisch glatt anzusehen sind. Das kann z. B. das Polieren von Lauf- und Leitschaufeln erfordern.

Kontrolle der geometrischen Ähnlichkeit von Modell und Grossausführung

Ein Nachweis der geometrischen Ähnlichkeit von Modellturbine und Grossausführung ist Grundbedingung für Abnahmeversuche am Modell.

Zu überprüfen sind:

a) Hauptabmessungen des Ein- und Auslaufes, des Leit- und Laufrades und des Saugrohres;

b) Schaufelzahl von Stütz-, Lauf- und Leitschaufeln;

c) Spaltweiten;

d) Schaufelform von Lauf- und Leitrad.

Zur Nachprüfung der geometrischen Ähnlichkeit der Schaufelform der Laufräder für Modell und Grossausführung wird empfohlen:

Bei Francisturbinen:

je 2 Schablonen für die Ausbildung der Schaufelnase am Eintritt,

je 1 Schablone für die Kontrolle der Schaufelneigung am Laufradeintritt in einem mittleren Schnitt,

Nachmessung der mittleren Lichtweite der Schaufelkanäle am Laufradaustritt.

Bei Propeller- und Kaplanturbinen:

je 2 Schablonen für die Ausbildung der Schaufelnase am Eintritt,

je 2 gerade oder gekrümmte Schablonen für die Schaufeldruckseite oder Schaufelsaugseite, und zwar für einen innen- und einen aussenliegenden Profilschnitt,

Nachprüfung der Schaufeldicke der nachgeprüften Schaufelschnitte an mindestens 3 Punkten.

Bei Freistrahlturbinen:

je 2 Schablonen für 2 senkrecht aufeinanderstehende Schnittebenen der Becherform,

Bestimmung der Schaufelbecherneigung gegenüber der radialen Richtung.

Zulässige Abweichungen bei der Kontrolle der geometrischen Ähnlichkeit

Bei der Beurteilung der Abweichungen zwischen Grossausführung und Modell muss man berücksichtigen, dass sich die prozentualen Herstellungsgenauigkeiten von Modell und Grossausführung addieren. Daher wird man, wenn nicht anders vereinbart, noch folgende Abweichungen für zulässig halten:

Bei den Hauptmassen:	
unbearbeitete Teile	± 1 %
gedrehte Teile.	± 0,1 %
Bei den Drosselspaltlichtweiten	± 10 %
Bei Francisturbinen:	
bei den Schablonen für den Krümmungsradius der Flügelnase.	± 10 %
beim Krümmungsradius der Flügelnase	± 10 %
bei den Schablonen für die Schaufelneigung	± 2°
bei der mittleren Austrittslichtweite	± 2 %
Bei Propeller- und Kaplanturbinen:	
bei den Schablonen für die Flügelschnitte, bezogen auf die Profiltiefe . .	± 0,2 %
bei der gegenseitigen Neigung der inneren und äusseren Profilschnitte . .	± 0,5°
bei der Schaufeldicke	± 3 %
Bei Freistrahlturbinen	
bei den Schablonen für die Schaufelform von der Schaufelbreite	± 0,5 %
bei der Becherneigung	± 1°

Adresse des Autors:

Dr.-Ing. habil. *R. Dziallas*, J. M. Voith GmbH, Heidenheim/Brenz (Deutschland).

Bemerkungen zum Entwurf von Regeln betr. Abnahmeversuche am Modell

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung vom 13. Februar 1959 in Zürich,

von *A. Pfenninger*, Zürich

621.224.001.57

Das Aufstellen von Regeln für Abnahmeversuche an Wasserturbinen-Modellen, die international brauchbar sein sollen, ist ein schwieriges Unterfangen. Bei dem zur Diskussion stehenden ersten Entwurf stellt man zunächst fest, dass der Inhalt der einzelnen Kapitel wesentlich durch die den Sachbearbeitern zur Verfügung stehenden Gegebenheiten beeinflusst ist. Da dies aber sehr natürlich ist, soll auch diese kritische Stellungnahme als aufbauender nächster Schritt angesehen werden.

Leider ist die vorliegende Fassung nicht vollständig, da wichtige zu den einzelnen Kapiteln gehörende Figuren ganz fehlen und die beigegebenen Skizzen keine Bezugsnummern tragen.

Der Nachweis der für Wasserturbinen abgegebenen Garantien bezüglich Wirkungsgrad, Leistung, Kavitationsverhalten und Durchbrennen kann sicher am besten durch Versuche an einem vom Eintritt bis zum Austritt in den wasserführenden Dimensionen genau ähnlichen Modell erbracht werden, wobei Prüfungen über den gesamten Gefällsbereich möglich sind. Anderseits nehmen aber auch Kraftwerkbesitzer eine relativ grosse Messungenauigkeit und die Durchführung der Versuche