

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 50 (1959)
Heft: 13

Artikel: Bemerkungen zum Entwurf von Regeln betr. Abnahmeversuche am Modell
Autor: Pfenninger, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059467>

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: 15.01.2026

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

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 $\pm 1\%$
gedrehte Teile $\pm 0,1\%$

Bei den Drosselspaltlichtweiten $\pm 10\%$

Bei Francisturbinen:

bei den Schablonen für den Krümmungsradius der Flügelnase $\pm 10\%$

beim Krümmungsradius der Flügelnase $\pm 10\%$

bei den Schablonen für die Schaufelneigung $\pm 2^\circ$

bei der mittleren Austrittslichtweite $\pm 2\%$

Bei Propeller- und Kaplanturbinen:

bei den Schablonen für die Flügelschnitte, bezogen auf die Profiltiefe $\pm 0,2\%$

bei der gegenseitigen Neigung der inneren und äusseren Profilschnitte $\pm 0,5^\circ$

bei der Schaufeldicke $\pm 3\%$

Bei Freistrahlturbinen

bei den Schablonen für die Schaufelform von der Schaufelbreite $\pm 0,5\%$

bei der Becherneigung $\pm 1^\circ$

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. Pfenniger, 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 ge-

hörende 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. Andererseits nehmen aber auch Kraftwerkbesitzer eine relativ grosse Messungenauigkeit und die Durchführung der Versuche

bei nur einem Gefälle in Kauf, vermeiden die Diskussion über die Aufwertung und ziehen daher Abnahmeversuche an der Grossmaschine den Modellversuchen vor.

Unter der Voraussetzung, dass die Laboratorien der Turbinenlieferanten so eingerichtet sind, dass Modellversuche einwandfrei durchgeführt werden können, sollen die zu schaffenden internationalen Regeln so ausgebaut sein, dass sie in diesen Laboratorien Anwendung finden können und nicht den Bau neuer Laboratorien verlangen.

Die Aufgabe der immer mehr von den Kunden herangezogenen neutralen Experten wird es sein, von Fall zu Fall die Überprüfung der Versuchseinrichtungen gemeinsam mit dem Besteller und dem Lieferanten vorzunehmen und die Minimalanforderungen an das betreffende Laboratorium festzulegen.

Wenn hier die Durchführung von Modellabnahmeversuchen in den eigenen Laboratorien der Turbinenlieferanten besonders unterstrichen ist, dann deshalb, weil bei den grösseren Firmen schon seit Jahren die einschlägigen Versuchsstände solchen Abnahmeversuchen dienen und daher entsprechend ausgebaut sind. Selbstverständlich können ganz allgemein oder in speziellen Fällen, z. B. bei mehreren Konkurrenten auch neutrale Laboratorien mit der Durchführung beauftragt werden, was die Beurteilung der Messergebnisse wesentlich vereinfachen kann.

Zu den vorliegenden Regeln selbst seien folgende Bemerkungen angebracht:

Im *Kapitel 3* über die technischen Garantien sollte genauer gesagt werden, dass das zu messende Modell z. B. vom Eintritt der Spirale bis zum Saugrohraustritt in den wasserführenden Teilen genau der Grossausführung zu entsprechen hat. Es scheint auch wichtig, dass an dieser Stelle die im Entwurf überhaupt fehlende Definition des Gefälles eingeführt wird.

Wenn nichts anderes vereinbart ist, sollen laut dem vorliegenden Entwurf folgende Aufwertungsformeln angewandt werden:

für Propeller- und Kaplan turbinen: die Formel nach Hutton;

für Francis turbinen: die Formel nach Moody, mit einem Exponent von $\frac{1}{5}$;

für Freistrahlturbinen: keine.

Es wäre interessant, von den Bearbeitern zu erfahren, warum gerade diese Vorschläge gemacht werden. Andererseits hat jede Firma ihre eigene Erfahrung, die auch mit der Ausführung der Turbinen zusammenhängt. Man beachte in diesem Zusammenhang das in den Transactions der ASME im Oktober 1958 veröffentlichte Symposium als Vergleich von Laboratorium- und Grossversuchen.

Im *Kapitel 4* über die Versuchsbedingungen sollten die Schwankungen für Gefälle und Drehzahl nach den gemachten Erfahrungen für beide Werte mit 0,5 % eingesetzt werden. Eine bessere Fassung dieses wichtigen Abschnittes ist anzustreben.

Die Eichung der Wassermesseinrichtung unter gleichen Absolutdrücken wie bei der Messung kann z. B. beim geschlossenen Kreislauf nicht gut eingehalten werden.

Zweck dieser Vorschrift ist, Fehler zu vermeiden durch Kavitation im Messorgan oder durch Luftabscheidung.

Der weitere Vorschlag, die Wassermenge mit einer bekannten anderen Modellturbine zu bestimmen ist interessant, dürfte aber mindestens die gleichen Diskussionen hervorrufen, wie der erste Vorschlag. Dieser Punkt bedarf daher ebenfalls einer sorgfältigen Überholung.

Die Forderung, dass jede Änderung der Kreislauf-Wassermenge durch Wegnehmen oder Hinzufügen zu unterbleiben hat, stösst wieder beim geschlossenen Kreislauf auf Widerstand, da ja gerade in diesem Fall stets eine bestimmte Menge durch eine gleiche Menge Frischwasser ersetzt wird, um eine unzulässige Erwärmung zu vermeiden. Wichtig ist hingegen, dass zwischen dem Messorgan und dem Modell keine Änderung stattfindet, d. h. dass die gemessene Wassermenge tatsächlich auch durch das Modell fliesst.

Bei den Gefällsgrenzen für Francis-, Propeller- und Kaplan turbinen verstehe ich nicht die Begrenzung nach oben, bin aber der Auffassung, dass eine Begrenzung nach unten viel wichtiger ist. Ebenso stellt sich die Frage, warum bei Freistrahlturbinen das untere Modellgefälle auf 30 m begrenzt sein soll.

Es wird auch verlangt, dass offenbar zu Kontrollzwecken für die Wassermengenmessung 2 Einrichtungen vorhanden sein sollen. Nach unserem Dafürhalten kann eine Eichung auch unterbleiben wenn z. B. für das eingebaute Messorgan ein Eichungsbericht eines neutralen Experten vorliegt.

Dass für Kaplanmodelle bei $H_{modell} \geq 4$ m ein Raddurchmesser von nur 250 mm angegeben ist, überrascht sehr. Hier sehe ich bei 300 mm die untere Grenze.

Es wäre interessant, die diesbezüglichen Überlegungen der Bearbeiter zu hören.

Meines Wissens liegen die Modellraddurchmesser aller neueren Versuchsstände zum Teil sogar weit über den im Entwurf angegebenen Minimalwerten.

Im *Kapitel 5* über die Versuchsdurchführung ist die Ziffer 5.2 betreffend Zeitpunkt der Versuchsdurchführung nach meiner Meinung zu streichen, da dies eher eine kaufmännische Festlegung ist, die mit der Technik des Modellversuchs nicht viel zu tun hat.

Im sehr ausführlichen *Kapitel 6* über die Messmethoden sind viele Möglichkeiten zusammengestellt. Wenn für die Wassermengenmessung mit Behälter eine Mindestmesszeit von 60 s vorgesehen ist, so ist zu beachten, dass bei 0,3 s Ungenauigkeit bereits ein Fehler von 0,5 % entsteht.

Bei der Schirm-Messung soll zur Vermeidung des Schlupfes eine elastische Lippe vorgesehen sein, die gegenüber den Wänden des Kanals dicht abschliesst. Ihr Einfluss kann durch Ziehen des Schirmes bei nassen Wänden bestimmt werden.

Für die Messung mit einem Wehr ist keine Eichung vorgesehen. Es ist aber doch so, dass gerade das Wehr in allen seinen Formen unbedingt eine Eichung notwendig macht. In diesem Zusammenhang glaube ich auch vorschlagen zu dürfen, dass

man mit einer einzigen Formel auskommen kann. Die Hegly-Formel sollte zugunsten der S. J. A.-Formel gestrichen werden.

Auch im Abschnitt über die Gefällsmessung vermisst man eine klare Definition des Gefälles als Differenz der Energien am Ein- und Austritt der Modellturbine. Diese Definition sollte durch Skizzen wie in den Regeln des SEV erläutert sein.

Wenn bei der Drehmomentmessung der Hebelarm des Dynamometers mit $\pm 0,1\%$ bestimmt werden soll, so bedeutet dies bei 1 m Länge eine Abweichung von 1 mm. Hier ist doch sicherlich eine Genauigkeit von $\pm 0,02\%$ möglich.

Die Vorschriften über die Lagerung sollten derart umgearbeitet werden, dass klar zu ersehen ist, dass die Lagerreibung der zugelassenen Lagerkonstruktionen nicht von der Öltemperatur abhängig ist. Dichtungen, d. h. deren Reibungen sollten in die doppelte Lagerung einbezogen werden.

Das Kapitel 7 behandelt die Auswertung von Modellversuchsergebnissen. Der Vergleich mit den Garantien kann sowohl in direkten Grössen Q , H , P und n , als auch in spezifischer Darstellung erfolgen. Die letztgenannte Möglichkeit sollte deshalb miteinbezogen werden.

Diskussionsbeiträge

Dr. h. c. K. Rüttschi, Pumpenbau Brugg, Brugg, äussert sich kurz bezüglich Modelldurchmesser. Er begrüsst den verschiedentlich gefallenen Vorschlag, für ein bestimmtes Projekt einen konstanten Laufrad-, oder besser noch einen konstanten Saugrohreintrittsdurchmesser (bei Turbinen), bzw. Saugmunddurchmesser (bei Pumpen) vorzuschreiben. Der Votant tritt auch eingehend auf die Frage der Wirkungsgradaufwertung ein und verweist auf seine diesbezüglichen Veröffentlichungen in der Schweiz. Bauzeitung über Modellversuche an grossen Pumpenserien. Es werden rund einhundertmal so viele Pumpen wie Turbinen hergestellt, weshalb die Turbinenbauer mehr von den umfangreichen Modellerfahrungen der Pumpenbauer profitieren sollten. Rüttschi fand bei seinen Versuchen eine eindeutige Abhängigkeit des hydraulischen Wirkungsgrades vom Saugmunddurchmesser, mit ganz untergeordneter Bedeutung der Förderhöhe. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der «hydraulische Wirkungsgrad» des Turbinenbauers nicht identisch ist mit dem «hydraulischen Wirkungsgrad» des Pumpenbauers, sondern mit dem «inneren Wirkungsgrad», welcher die Radscheibenreibung und die Spaltverluste noch umfasst. Er zeigt mit Hilfe von Diagrammen, die von ihm gefundenen Zusammenhänge zur Belegung seiner nur vom Durchmesser abhängigen Aufwertformel, welche mit keiner der bekannten Turbinen-Aufwertformeln im ganzen untersuchten Bereich befriedigend übereinstimmt.

Prof. Dr. J. Ackeret, ETH, Zürich, geht zuerst auf die Frage der Modelltreue ein und macht darauf aufmerksam, dass es viel einfacher ist, ein Modellrad zeichnungsgetreu herzustellen, als ein Ausführungsrad (Toleranzen vorschreiben!). Ein Weg bestünde darin, dass zuerst die Grossausführung hergestellt und nach deren genauer Vermessung dann das Abnahmestrad geschaffen würde. Bezüglich Modellmaßstab und Aufwertung muss vor allem darauf geachtet werden, dass der Aufwertungsbetrag unterhalb einer festzulegenden Grenze liegt, unabhängig von der Aufwertformel. Im weiteren tritt Prof. Ackeret auf die grundlegenden Unterschiede im Schiffsbau (Froudesche Zahl) und im Bau hydraulischer Maschinen ein. Bei diesen spielt infolge der hohen Reynoldsschen Zahlen die Rauigkeit eine viel grössere Rolle in bezug auf den Wirkungsgrad. Sind die Verluste im wesentlichen nur noch Reibungsverluste bei hohen Reynoldsschen Zahlen, dann erklären sich die Resultate von Rüttschi von selbst. Abschliessend

Der Abschnitt 7.4.3 ist in dem Sinne nicht ganz klar, als der Text nicht einwandfrei darstellt, für welchen Teil einer z. B. nicht erfüllten η -Kurve Pönalitäten zu berechnen sind. Es fehlt ausserdem Fig. 2.

Ein besonderer Abschnitt ist den Messfehlern gewidmet. Das bei 7.6.1.1 aufgeführte Wehr gehört vielleicht nicht hierher.

Für den unter 7.6.1.3 erwähnten Meßschirm erscheint mir der Fehler von $\pm 0,3\%$ zu hoch, besonders, wenn nach dem vorher gemachten Vorschlag eine Lippe angebracht wird. Auch beim Gefälle im Abschnitt 7.6.2 erscheinen uns die zugestandenen Messfehler zu hoch, besonders bei Versuchsständen mit kleinen Gefällen.

Wenn man auch beim Drehmoment $0,25\%$ Fehler zulassen will, so ergibt sich schliesslich für den Turbinenwirkungsgrad eine Messgenauigkeit von $\pm 0,65\%$. Dieser Wert erscheint mir für eine moderne Versuchsanlage zu hoch. Mit Sicherheit können heute Werte etwa der halben Grösse ohne allzu grossen Aufwand erreicht werden.

Adresse des Autors:

A. Pfenniger, Oberingenieur, Escher Wyss AG, Escher-Wyss-Platz, Postfach Zürich 23.

drückt Prof. Ackeret sein Erstaunen darüber aus, dass nach Aussage verschiedener Referenten und des Diskussionsleiters, Prof. H. Gerber, bei Peltonturbinen nur bei Teillast eine Aufwertung, dagegen bei Vollast eher eine Abwertung auftritt. Er könnte eine eventuelle Erklärung darin sehen, dass bedingt durch die in der Becherströmung ausschlaggebenden Zentrifugalkräfte, grössere Geschwindigkeitsgradienten am Strahlrand zu stärkerer Strahlauflösung führen.

Dipl. Ing. P. Jaray, Motor Columbus AG, Baden, bekundet das grosse Interesse, welches seitens der Besteller hydraulischer Maschinen den Regeln für Modell-Abnahmeversuche entgegengebracht wird. Immerhin macht er darauf aufmerksam, dass der Kunde schlussendlich mit der Ausführungsmaschine arbeiten muss und deshalb nur dort Modellabnahmen am Platze sind, wo die Unmöglichkeit vernünftiger Grossabnahmen besteht oder wo die Kosten der Modellabnahmen wesentlich kleiner sind.

Oberingenieur Duport, Neyrpic, Grenoble, behandelt zuerst den Maßstabeinfluss auf den Aufwertbetrag bei Teillast, Vollast und Überlast. Er zeigt, wie komplex die Aufwertfrage ist, da eine Formel, die für den optimalen Wirkungsgrad gute Resultate ergibt, für die Teil- und Überlastwirkungsgrade grosse Abweichungen ergeben kann. Ferner ist die Aufteilung der gesamten hydraulischen Verluste in Teilverluste (Leitapparat — Laufrad — Saugrohr — Spalt) wünschbar, aber immer noch problematisch. (Der Spalt z. B. kann nicht modellgetreu ausgeführt werden. Ausweg: Diesen Verlust am Modell für sich messen und eventuell auch an der Ausführung). Auch die Frage der Kavitation ist sehr schwer erfassbar: Wie gross ist der kritische Druck, an welcher Stelle genau tritt er auf, wie gross ist dort der Verdampfungsdruck effektiv? Duport hält viele der vorgeschlagenen Massnahmen für illusorisch bei der heute für Grossabnahmen geltenden Messtoleranz $\pm 2\%$ (Punkte) im Wirkungsgrad. Auf alle Fälle sind Toleranzen auch für das Modell wünschbar. Abschliessend betont der Votant, dass nicht zu weit gegangen werden sollte in der Reglementierung, da die ganze Frage nach wie vor eine Vertrauensfrage bleibe.

Dr. G. Ziegler, Graz-Andritz, führt einleitend einige praktische Wünsche zum Regelentwurf an: Erstens sollte für die Aufwertung eine bestimmte Formel als verbindlich erklärt,