

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 82 (1964)
Heft: 20

Artikel: Beitrag zur Flügelmessung in Einläufen von Niederdruckturbinen
Autor: Ziegler, Gerhard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-67495>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

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

ausgetauscht. Unser Land konnte wie im Vorjahr 260 Praktikantenplätze anbieten, während 450 Ausländer sich um die Absolvierung einer Praxis bei uns im Laufe des Jahres 1964 beworben hatten. Im Jahr 1963 erfolgte der Austausch mit unserem Lande mit 275 Ausländern, die wir aufnehmen konnten, gegenüber 222 Studierenden unserer Hochschulen und Technikern, die ins Ausland fahren konnten, wovon 89 von den schweizerischen Technika kamen.

Den Praktikantenberichten unserer Studierenden und der Ausländer, die zu uns kommen, kann immer wieder entnommen werden, mit welchem beruflichen Nutzen und welcher Begeisterung, gleichzeitig ein fremdes Land kennen lernen zu können, die jungen Studenten am Austausch teilnehmen. Die Schweizer reisen hauptsächlich nach europäischen Ländern, aus sprachlichen Gründen besonders gern nach England. Aber auch nach den USA, Canada, Argentinien, ja bis nach Südafrika vermittelt das Schweiz. Nationalkomitee, dessen Sekretariat vom Praktikantenamt der ETH besorgt wird, Praktikanten. — Unser Land kann seit Jahren immer besonders auf den Gebieten der Architektur, der Chemie, der

Elektrotechnik sowie des Tiefbaues (Strassenbau) der Anfrage ausländischer Studierender nach Praktikantenstellen nicht genügen.

Die Jahrestagung 1964 in Luzern verlief ausgezeichnet. Neben dem Offertenaustausch — «Praktikantenbörse» genannt — wurden statutarische Geschäfte behandelt: die Neuauflnahme von Luxemburg, Chile, Kolumbien, Japan, Sudan und der amerikanischen Universität Beirut. Generalsekretär Dr. K. Wyneken (Deutschland) wurde einstimmig wiedergewählt und das Advisory Committee wie folgt zusammengesetzt: Prof. Altamira (Spanien), Prof. Wright (England) und Ing. R. A. Berger (Schweden) sowie als Ersatzmann Prof. Tymowski (Polen). — Ein von Kanton und Stadt Luzern offeriertes Abendessen, der Besuch des Verkaufshauses — der grossem Interesse begegnete — sowie eine «house-warming party und eine Fahrt auf den Rigi sorgten für Abwechslung, Geselligkeit und Fröhlichkeit, die auch zur «internationalen geistigen Integration» gehören, der die IAESTE neben der beruflichen Weiterbildung dient.

Dr. H. Bosshardt, ETH, Zürich

Beitrag zur Flügelmessung in Einläufen von Niederdruckturbinen

Von Dr. Gerhard Ziegler, Graz-Andritz

Im Interesse einer immer sichereren Beherrschung der Flügelmesstechnik entstehen laufend neue Einzeluntersuchungen. In dieser Zeitschrift [1] wurde kürzlich auf die Arbeit der Internationalen Flügelmessgruppe hingewiesen, die einen wesentlichen Teil dieser Bestrebungen koordiniert und publiziert [2]. Die vorliegende Mitteilung beschreibt Versuche, die dem Verdrängungseffekt des Messwagens galten, und im Auftrage der Ennskraftwerke AG. von der Anstalt für Strömungsmaschinen in Graz-Andritz durchgeführt wurden¹⁾.

1) Die Initiative zur Versuchsdurchführung ist dem steten Interesse zu danken, das Direktor Dipl.-Ing. Gerhard Schloffer der Ennskraftwerke AG der Wassermengen-Messtechnik entgegenbringt. Der Verfasser spricht ihm dafür den verbindlichen Dank der Anstalt aus.

DK 621.292.2:531.732

1. Problemstellung

Bei der Integration der Durchflussmenge aus einer Anzahl — zum Teil nacheinander — örtlich gemessener Geschwindigkeiten muss vorausgesetzt werden, dass die gemessenen Geschwindigkeiten genau den Geschwindigkeiten entsprechen, die an den Messpunkten auch in der völlig unbehinderten Strömung, also in Abwesenheit der Messeinrichtung, herrschen. Ist im folgenden von «Störungen» die Rede, so sind darunter die Unterschiede zwischen der Geschwindigkeit der unbehinderten Strömung und der in Anwesenheit der Messeinrichtung, d. h. des Messwagens mit seinen Flügeln, gemessenen Geschwindigkeit verstanden. Bei einer Messanordnung entsprechend Bild 1 können folgende Störungen auftreten:

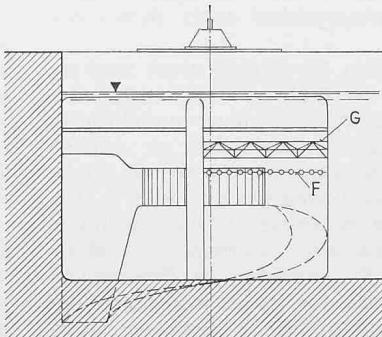
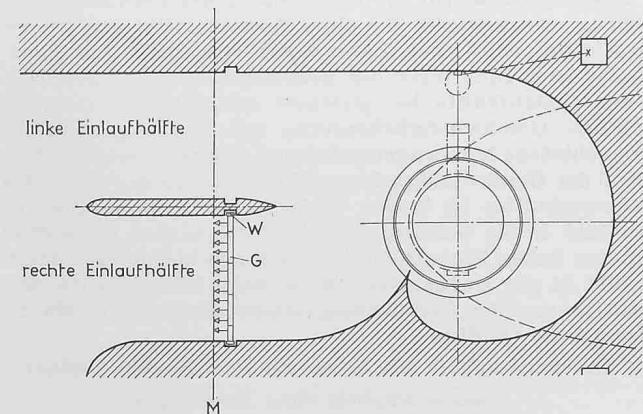
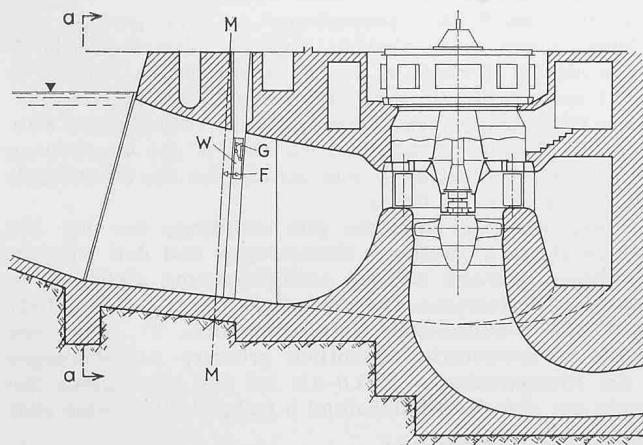


Bild 1. Niederdruck-Kaplan-turbine mit in die rechte Einlaufhälfte eingefahrenem Messwagen
 M Messebene
 F Flügelstange
 G Gitterträger des Messwagens
 W Seitenschilde des Messwagens, in den Dammkennnuten laufend

- Schnitt a-a
- Störung der in der Messebene herrschenden Geschwindigkeit, durch die die Flügel mit dem Messwagen verbundene Flügelstange,
 - Störung der in der Messebene herrschenden Geschwindigkeit durch die benachbarten Messflügel,
 - Störung der Strömung in der Messebene durch den Verdrängungseffekt des Messwagens,
 - Störung der Beaufschlagungsverteilung zwischen zwei oder mehreren Einlaufteilen für den Fall, dass der selbe Messwagen nacheinander in die verschiedenen Teilquerschnitte eingefahren wird.

Fehler entsprechend a) werden dadurch eliminiert, dass zur Flügeleichung dieselben Flügelstangen verwendet werden, wie bei der Anlagemessung. Fehlermöglichkeiten nach b) — wie auch alle Fragen der Schräganströmung, Pulsationen oder mechanischer Eigenschaften der Flügel — sind nicht Sache des vorliegenden Berichtes. Störungen nach c) werden nachfolgend als «Profilverzerrung», solche entsprechend d) als «Durchflussverschiebung» bezeichnet.

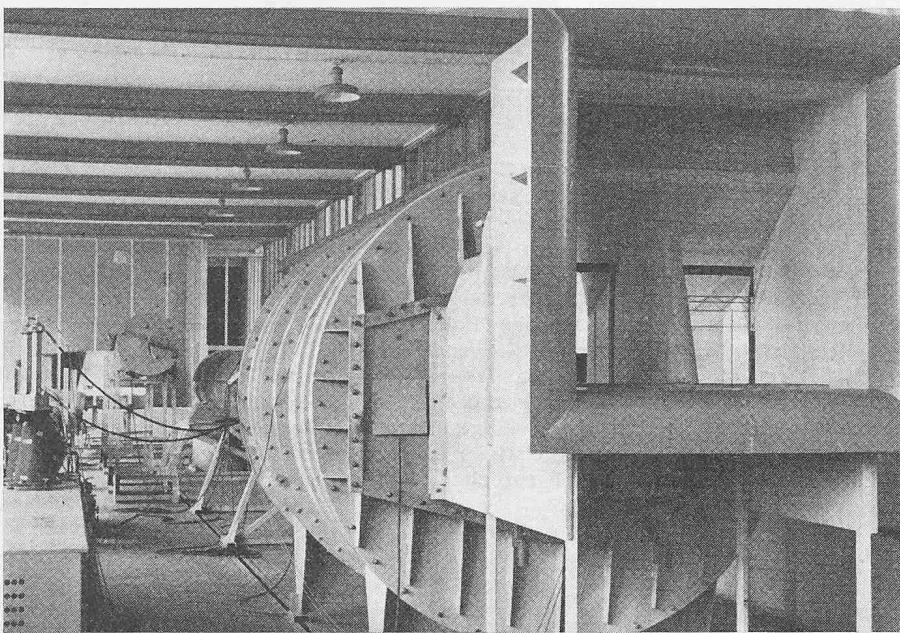


Bild 2. Versuchseinrichtung: Vorne der Modelleinlauf, anschliessend der grosse Beruhigungsbehälter (die Düsenmesstrecke ist im Bild nicht sichtbar); im Hintergrund das Antriebsgebläse, links das Messpult

Die Bestimmung von Art und Größenordnung der Durchflussverschiebung und der Profilverzerrung für eine bestimmte Messanordnung war der eigentliche Versuchszweck.

2. Versuchseinrichtung

Zur Messung ist ein Einlaufmodell mit verschiebbarem Messwagen verwendet worden, das einer Grossanlage etwa im Maßstab 1:15 nachgebildet worden war. Die Versuche wurden als Luftversuch im Saugbetrieb durchgeführt, wobei ein Gleichstrommotor mit Ward-Leonard-Regelung das Sauggebläse antrieb. Zur Bestimmung der durchgesetzten Luftpumpe diente eine Normdüse mit langem Zulauf und vorgesetztem Beruhigungskessel in Verbindung mit Betz-Präzisionsmanometern, Bild 2. Die Re -Zahlen lagen im Versuch um etwa eine Zehnerpotenz unter denen der Grossanlage.

Die Messflügel selbst wurden im Modell nicht nachgebildet. Für die Messung der vertikalen Geschwindigkeitsprofile in der Messebene verwendete man ungekröpfte Prandtl-Rohre, die weit hinter der Messspitze an dünnen Stahldrähten aufgehängt waren, während die Messschläuche in Strömungsrichtung vom Gerät wegführten, Bild 3. Die Prandtl-Rohre, die einen gegen Schräganströmung ziemlich unempfindlichen Staudruck erzeugen, wurden von Messpunkt zu Messpunkt mittels Fadensonden in Strömungsrichtung eingestellt. Die Störung der Strömung durch das Prandtl-Rohr selbst ist im Vergleich zu der durch den Messwagen verursachten Störung klein. Beim Vergleich der mit und ohne Messwageneinfluss gemessenen Geschwindigkeitsprofile hebt sich dieser geringe Einfluss auf.

3. Messergebnisse

a) Profilverzerrung

Im Modellversuch ist zunächst das in Abwesenheit des Messwagens herrschende Geschwindigkeitsprofil gemessen worden. Anschliessend wurden bei gleichem sekundlichem Durchfluss Geschwindigkeitsprofile in Anwesenheit des Messwagens ermittelt, und zwar für verschiedene Höhenlagen a dieses Wagens, Bild 4a. Die Ergebnisse sind aus Bild 4b ersichtlich. Zur Kennzeichnung der Geschwindigkeitsunterschiede wurde der dimensionslose Quotient

$$q = \frac{\text{Geschwindigkeit in Anwesenheit des Messwagens}}{\text{Geschwindigkeit in Abwesenheit des Messwagens}}$$

verwendet. Das dimensionslose Geschwindigkeitsprofil P_1 zeigt deutlich die Delle im Windschatten des Gitterträgers und die ausgleichenden Übergeschwindigkeiten oberhalb und unterhalb desselben. Die Profile P_2 und P_3 gelten für je eine

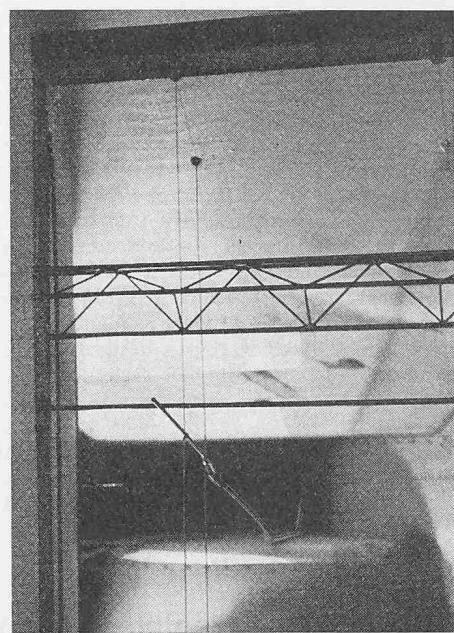


Bild 3. Nahaufnahme des Messwagenmodells. Die Messflügel selbst sind im Modell nicht nachgebildet. Das zur Ausmessung der Geschwindigkeitsprofile verwendete gerade Prandtl-Rohr ist an dünnen Stahldrähten aufgehängt. Die Messschläuche werden in Strömungsrichtung von der Sonde nach hinten weggeführt

tiefere und höhere — in Bild 4a nicht dargestellte — Messwageneinstellung.

Bei der Flügelmessung an der Anlage ist pro Messwageneinstellung von dem im Modellversuch bestimmten vollständigen Geschwindigkeitsprofil P nur die örtliche Geschwindigkeit G in der Höhe des Messflügels, also der Punkt für $y = a$, bekannt. Zur Auswertung werden die in den einzelnen Messwageneinstellungen nacheinander ermittelten örtlichen Geschwindigkeiten G durch eine Verbindungsline V verbunden, deren eingeschlossene Fläche dem sekundlichen Durchfluss im betrachteten Schnitt proportional ist. Die geringe Abweichung dieses «scheinbaren» Geschwindigkeitsprofils V von der idealen Geraden $q = 1,0$ (schräffierter Bereich in Bild 4b) spricht für die gute räumliche Zuordnung der Flügel zum Gitterträger des Messwagens im vorliegenden Fall. Obwohl die Störungen maximal bis zu 6 % der ungestörten Geschwindigkeiten betragen, sind sie am Ort des Messflügels selbst stets kleiner als 0,5 %.

Dieses günstige Ergebnis gilt allerdings nur für den Vertikalabstand b zwischen Gitterträger und den Flügeln. Wäre dieser Abstand bei der Anlagemessung gleich b' , so würde man die örtlichen Geschwindigkeiten G_1' , G_2' und G_3' messen. Die resultierende Verbindungsline V' zeigt, wie aus Bild 4b ersichtlich, wesentlich grössere Abweichungen von der Idealgeraden $q = 1,0$ als bei der günstigeren Zuordnung mit dem Vertikalabstand b festgestellt worden sind.

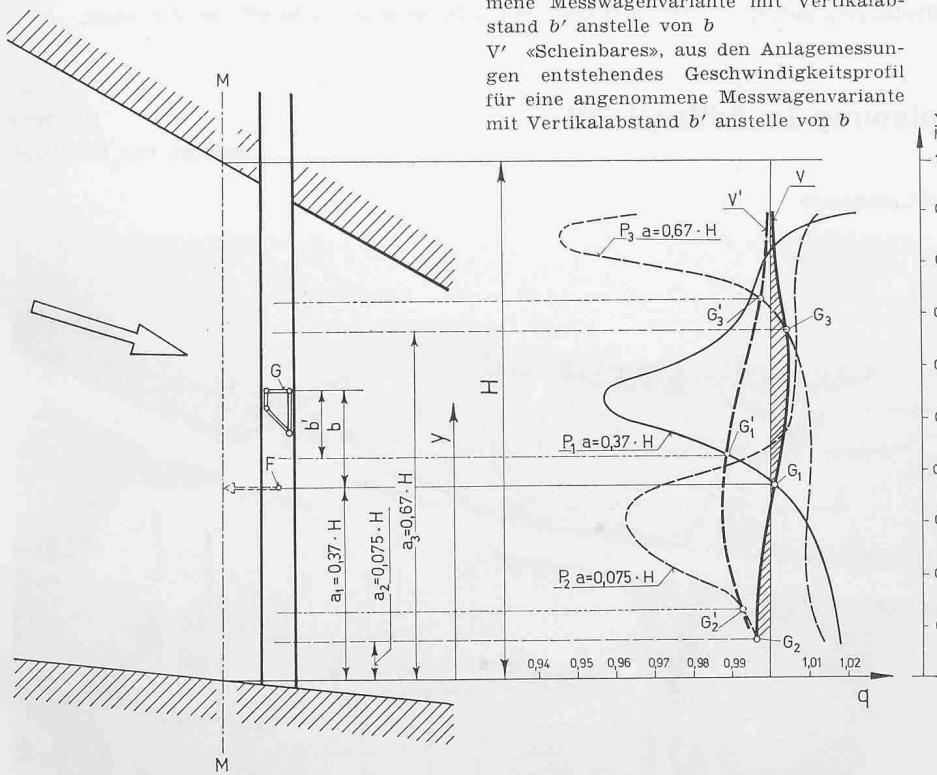
b) Durchflussverschiebung

Ausgangspunkt für die Bestimmung der Durchflussverschiebung waren wieder die ohne Messwagen in den beiden Einlaufteilen gemessenen Geschwindigkeitsprofile. Anschliessend sind nach Einbringen des Messwagens in die gegenüberliegende Einlaufhälfte bei gleichem sekundlichem Gesamt-Durchfluss Geschwindigkeitsprofile mit Messwageneinfluss für verschiedene Messwagenstellungen gemessen worden. Der Verlauf der Geschwindigkeitsverhältnisse über der Höhe des Messquerschnittes ist in den Bildern 4c und 4d dargestellt, wobei Bild 4c die Geschwindigkeiten im rechten Einlaufteil bei in den linken Einlaufteil eingefahrenen Messwagen zeigt. Das Bild 4d gilt sinngemäss für die linke Einlaufhälfte. Zur Kennzeichnung der Geschwindigkeitsunterschiede ist ein dimensionsloser Quotient

$$r = \frac{\text{Geschwindigkeit mit Messwagen im Nachbareinlauf}}{\text{Geschwindigkeit ohne Messwagen}}$$

Bild 4a. Messquerschnitt

- G Gitterträger
F Flügelstange
M Messebene
H Höhe des Messquerschnittes
a Höhe der Flügelaxe über der Grundlinie des Messquerschnittes
y Laufende Höhenkoordinate über der Grundlinie des Messquerschnittes
b Vertikalabstand zwischen Gitterträger und Flügelstange für den dargestellten Messwagen
b' Vertikalabstand zwischen Gitterträger und Flügelstange für eine — nicht näher dargestellte — Messwagenvariante



verwendet. Alle Messungen zeigen Uebergeschwindigkeiten zur Kompensation der Durchflussverminderung, die im Nachbareinlauf durch den dort eingefahrenen Messwagen entsteht. Die Höhenlage des Messwagens hat auf die Durchflussverschiebung im freien Einlauf nur geringen Einfluss. Die Unterschiede der vertikalen Geschwindigkeitsprofile für $a = 0,52 \cdot H$ bzw. $a = 0,75 \cdot H$ einerseits und für $a = 0,075 \cdot H$ bzw. $a = 0,30 \cdot H$ anderseits konnten durch die Messung nicht mehr erfasst werden.

Bei Kaplan-turbinen ist die vor der eigentlichen Spirale liegende Einlaufpartie — im vorliegenden Fall die linke — meist stärker durchströmt als der spornseitige Teileinlauf. Die Bremsung des starken Hauptstromes der linken Einlaufhälfte hat die in Bild 4c sichtbare besonders ausgeprägte Rückwirkung auf die Strömung im rechten Teileinlauf zur Folge.

4. Zusammenfassung

Profilverzerrung und Durchflussverschiebung infolge eines Messwageneinflusses konnten eindeutig festgestellt werden. Für den untersuchten Fall sind beide Einflüsse dank guter Zuordnung von Flügel und Messwagen eindeutig kleiner als die Messtoleranz einer Flügelmessung und kompensieren sich zum Teil. Bei weniger günstigen Konstruktionen können durchaus Fehler in der Größenordnung der üblichen Messtoleranz und darüber auftreten, worauf bereits Serpand und Coffin [3] hingewiesen haben.

Im Hinblick auf die mit der Modellgrösse zusammenhängende Unsicherheit in den Randzonen und die Tatsache, dass beim untersuchten Modell zwar der unmittelbare Ein-

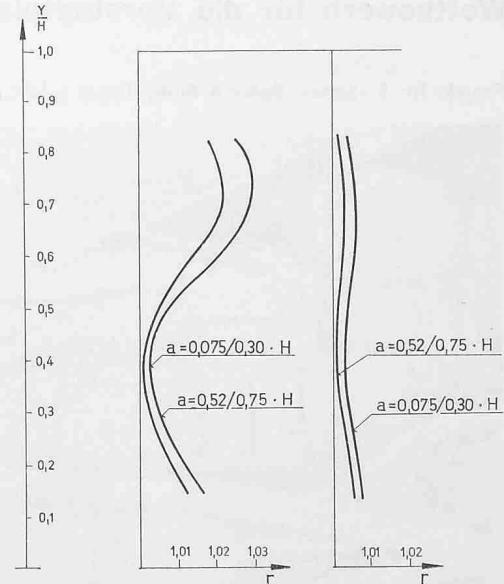
Bild 4b. Geschwindigkeitsprofile

- Darstellung des Quotienten q (siehe Text) über der Höhe des Messquerschnittes
 P_1 Dimensionsloses Geschwindigkeitsprofil für die in Bild 4a dargestellte Höhenlage des Messwagens $a = 0,37 \cdot H$
 P_2, P_3 Dimensionslose Geschwindigkeitsprofile für die — auf Bild 4a nicht dargestellten — Messwagenvarianten
 $a = 0,075 \cdot H$ und $a = 0,67 \cdot H$
 G_1, G_2, G_3 Oertliche, bei der Anlagemessung für die Höhenlagen a_1, a_2, a_3 des Messwagens gemessene Geschwindigkeiten
 V «Scheinbares», aus den Anlagemessungen entstehendes Geschwindigkeitsprofil
 G'_1, G'_2, G'_3 Oertliche, bei der Anlagemessung für die Höhenlagen a_1, a_2, a_3 gemessene Geschwindigkeiten für eine angenommene Messwagenvariante mit Vertikalabstand b' anstelle von b
 V' «Scheinbares», aus den Anlagemessungen entstehendes Geschwindigkeitsprofil für eine angenommene Messwagenvariante mit Vertikalabstand b' anstelle von b

Bild 4c. Durchflussverschiebung. Darstellung des Quotienten r über der Höhe des Messquerschnittes. Messung in der rechten Einlaufhälfte, Messwagen in der linken Einlaufhälfte. Die Profile für $a = 0,075 \cdot H$ und $a = 0,30 \cdot H$ bzw. für $a = 0,52 \cdot H$ und $a = 0,75 \cdot H$ sind praktisch identisch

Bild 4d. Durchflussverschiebung. Sinnemäss zu Bild 4c, jedoch Messung in der linken Hälfte, Messwagen in der rechten Hälfte

Bild 4c



lauf, jedoch weder die oberwasserseitige Zuströmung noch der Leit- und Stützschaufelring nachgebildet war, wurde bewusst auf die zusammenfassende Ermittlung eines Korrekturfaktors verzichtet.

Literaturverzeichnis

- [1] SBZ 1963, H. 36, S. 635: Die Arbeit der internationalen Flügelmessgruppe.
- [2] Berichte der internationalen Flügelmessgruppe, im Namen der Gruppe vom National Engineering Laboratory, East Kilbride. herausgegeben.
- [3] Influence of a current meter frame on the measurement of large discharges. Paper A 4, symposium on flow measurement in closed conduits. I. Serpand and I. Coffin.

75 Jahre Drehstrom-Motor

DK 621.313.333.2

Bezogen auf den Produktionswert aller elektrischen Maschinen (Generatoren und Motoren) nimmt der Drehstrom-Käfigläufer eine überragende Stellung ein. Von der westdeutschen Elektroindustrie wurden im Jahre 1963 Elektromotoren und Generatoren im Produktionswert von 1,9 Mrd DM geliefert. Davon entfielen auf Drehstrom- und Wechselstrommotoren 830 Mio DM, also mehr als vierzig Prozent. Man konnte diesen uns heute als selbstverständlich erscheinenden Anteil zur Zeit der Erfindung des Käfigläufers durch Michael von Dolivo-Dobrowolsky am 8. März 1889 nicht im entferntesten voraussehen. Zu jenem Zeitpunkt war das entscheidende Interesse zunächst noch auf den Gleichstrommotor gerichtet, für den bereits ab 1870 fertig entwickelte Typenreihen vorlagen. Es bedurfte daher eines besonderen Wagemutes, den