Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 90 (1998)
Heft: 9-10

Artikel: Stömungsinduzierte Rechenschwingungen
Autor: Kerenyi, Kornel / Hilisch, Stefan / Staubli, Thomas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939415

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: 10.02.2026

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

Strömungsinduzierte Rechenschwingungen

Kornel Kerenyi, Stefan Hillisch, Thomas Staubli

Einleitung

Die Rechenbauwerke vor Turbineneinläufen sollen einen ungestörten Betrieb der Wasserkraftanlagen sichern. Im Betrieb zeigt es sich nun immer wieder, dass diese Rechen strömungsbedingt zu Schwingungen angeregt werden und nach einer Weile Ermüdungsbrüche erleiden. Aus zahlreichen Untersuchungen über die Ursachen der Rechenschwingungen geht hervor, dass eine Resonanz zwischen der Wirbelbildung und einer der Eigenfrequenzen des Einlaufrechens oder seiner Stäbe vermutet werden kann.

Der Stababstand der Rechen hängt von Grösse und Art der Turbinen ab, die geschützt werden müssen. Der freie Raum zwischen den Stäben soll nicht grösser sein als die kleinste Öffnung in der Turbine. Rechenstäbe werden im allgemeinen quer zur Strömungsrichtung schmaler ausgeführt, um die durch die Rechenstäbe hervorgerufenen Strömungsverluste möglichst klein zu halten. Damit sind sie in Längsrichtung bedeutend steifer als in Querrichtung. Der einzelne Rechenstab ist in diesem Fall gegen Querschwingung entsprechend anfälliger als gegen Längsschwingung in Strömungsrichtung. Nun kann aber der gesamte Rechen durchaus auch in Biegeschwingungen versetzt werden, wenn das Rechensegment als Ganzes geringe Biegesteifigkeit aufweist.

Aus zahlreichen Untersuchungen über die Ursachen der Rechenschwingungen ist ersichtlich, dass ohne Ausnahme eine Resonanz zwischen der Wirbelbildung und einer der natürlichen Frequenzen des Einlaufrechens oder seiner Stäbe vermutet wird. Nach *Nguyen* und *Naudascher* (1991) sind Querschwingungen von Rechteckstäben innerhalb eines Rechenbauwerkes nahezu identisch jenen von entsprechenden Einzelstäben, unabhängig davon, ob die Rechenstäbe für sich allein oder im Verband gemeinsam schwingen. Wie von *Crandall* (1975) erstmals gezeigt wurde, können Rechentafeln bei Durchströmung auch in Längsschwingungen versetzt werden. Hinsichtlich des Einflusses der Nachbarstäbe auf das Längsschwingungsverhalten eines für Rechen typischen Rechteckstabes ist nach *Thang* (1988) zu sagen, dass mit kleiner werdenden Stababständen die wirbelerregten Längsschwingungen gestört werden und daher weniger intensiv ausfallen.

Messungen an Turbineneinlaufrechen zeigen, dass Quer- und Längsschwingungen meist gleichzeitig auftreten. Ausserdem wurde festgestellt, dass die Eigenfrequenzen der Rechensegmente in Längsrichtung und der Stäbe in Querrichtung in etwa gleich gross sein können, was Koppelschwingungen bewirken kann. Daher wurde in der vorliegenden Studie der Koppelschwingmechanismus mit Berücksichtigung des Steifigkeitsverhältnisses beider Hauptschwingungsrichtungen unter schräger Anströmung untersucht. Typisch für diese gekoppelten Schwingungen ist, dass die maximalen Schwingamplituden deutlich grösser sind als bei Schwingungen mit nur einem Freiheitsgrad.

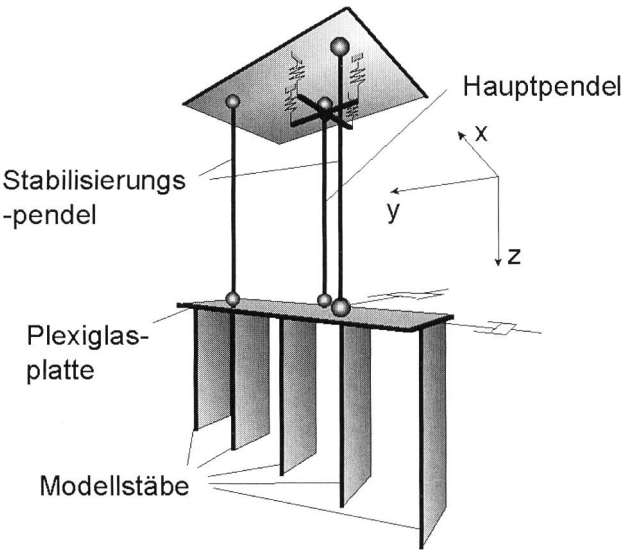


Bild 1. Schematische Darstellung des Pendels mit zwei mechanisch entkoppelten Freiheitsgraden.

Versuchseinrichtung

Der experimentelle Aufbau, an dem die zur Schwingungsanregung führenden strömungsmechanischen Zusammenhänge untersucht wurden, besteht aus Modellrechenstäben, welche an einem Pendel mit zwei Freiheitsgraden aufgehängt sind (Bild 1). Diese Aufhängung erlaubt die Schwingung der Stäbe entsprechend den Hauptbiegeschwingungsrichtungen von Turbineneinlaufrechen. Die Steifigkeit und die Masse werden durch Anbringen von Federn und Gewichten variiert und damit die Eigenfrequenzen verändert. Der Anströmwinkel α wird über einen Drehteller eingestellt.

Visualisierungstechnik

Die Versuchseinrichtung wurde für die Strömungsbeobachtung im transparenten Strömungskanal der Hochschule Technik und Architektur Luzern der Fachhochschule Zentralschweiz in Horw aufgestellt. Zur Visualisierung wurde die Wasserstoffblasentechnik eingesetzt. Ein feiner Platindraht mit 0,025 mm Durchmesser wird mit einigen Zentimetern Abstand stromaufwärts der Rechenstäbe angebracht. Durch pulsierend erzeugte Elektrolyse konnten Streifenmuster mit Wasserstoffbläschen generiert werden. Die Was-

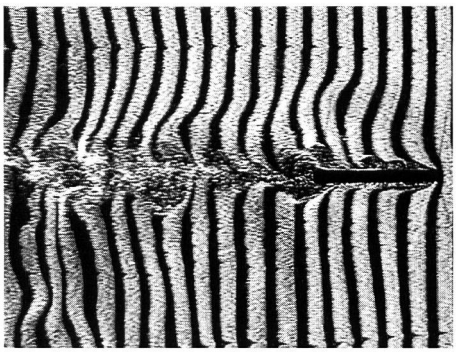


Bild 2, links. Visualisierung der Strömung am festgehaltenen Stab ohne Anstellung (α = 0°).

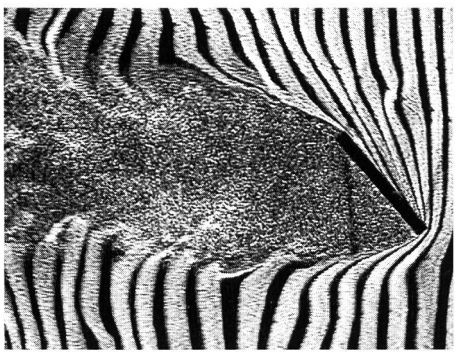


Bild 3, rechts. Visualisierung der Strömung am festgehaltenen Stab mit Anstellung (α = 45°).

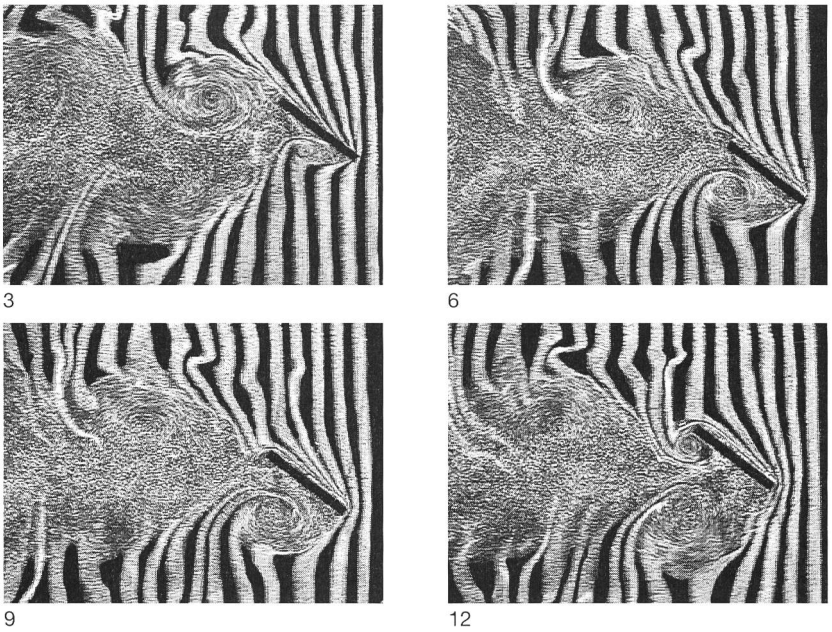
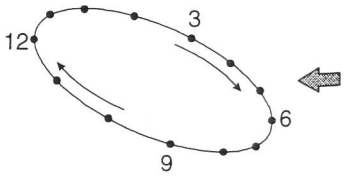


Bild 4. Sequenz von Strömungsbildern am Einzelstab mit einem Anströmwinkel von α = 35° bei Schwingungsanregung durch die Strömung. Unten die Schwingellipse.



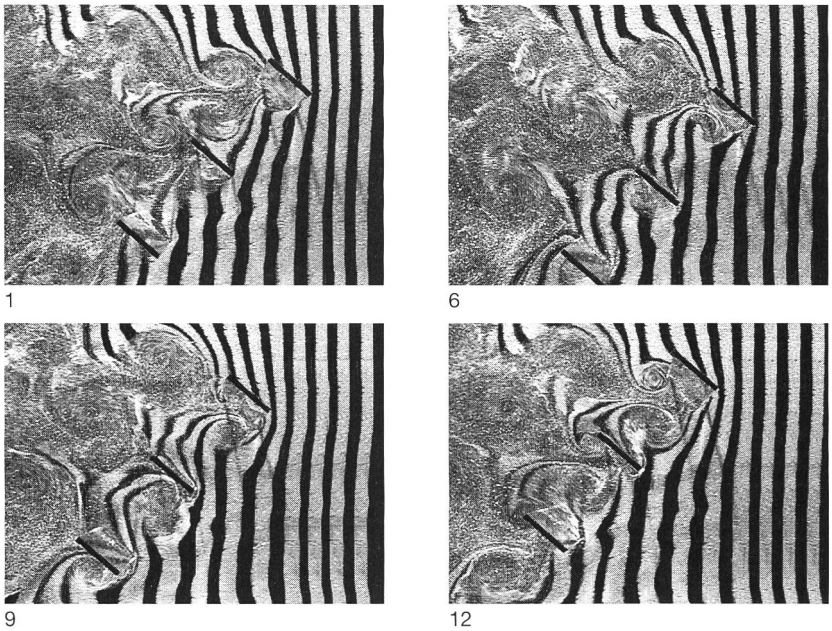
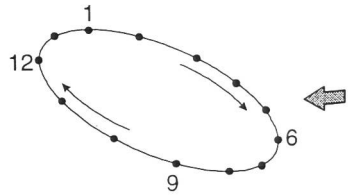


Bild 5. Sequenz von vier Strömungsbildern für die schwingende 3-Stab-Konfiguration mit Stababstand 2*e* und einem Anströmwinkel von α = 45°. Unten die Schwingellipse.



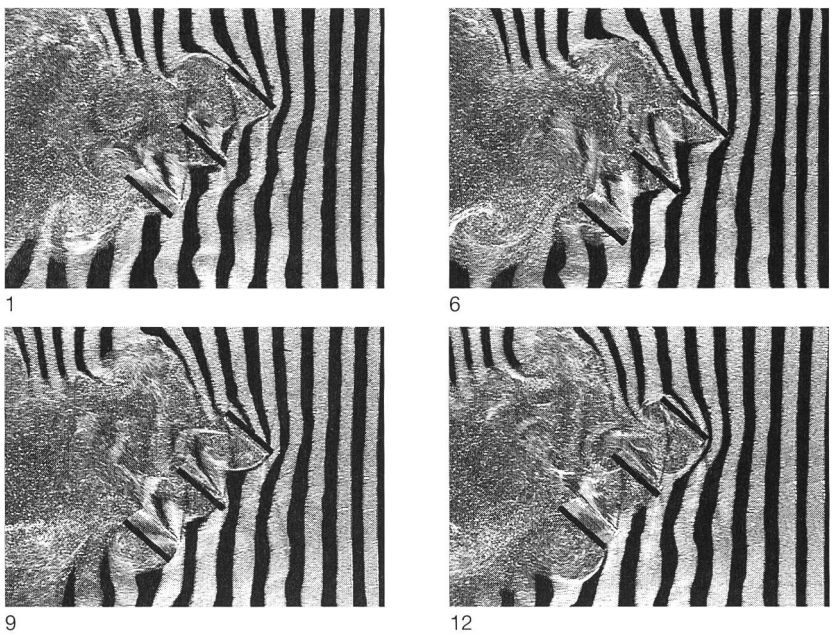
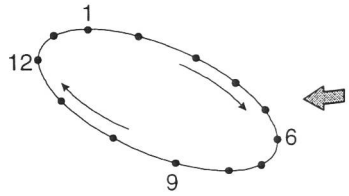


Bild 6. Sequenz von vier Strömungsbildern für die schwingende 3-Stab-Konfiguration mit Stababstand s = 1,1*e* und einem Anströmwinkel von α = 45°. Unten die Schwingellipse.



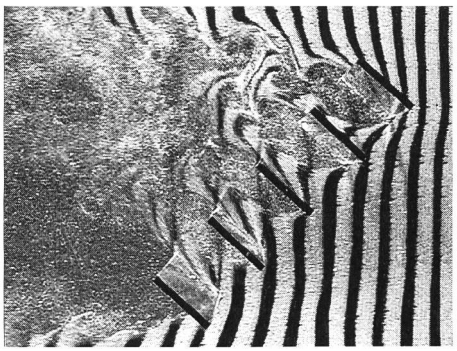


Bild 7, links. Strömungsvisualisierung hinter einem nichtschwingenden Gitterverband von 5 Stäben bei einem Anströmwinkel von $\alpha = 45°$.

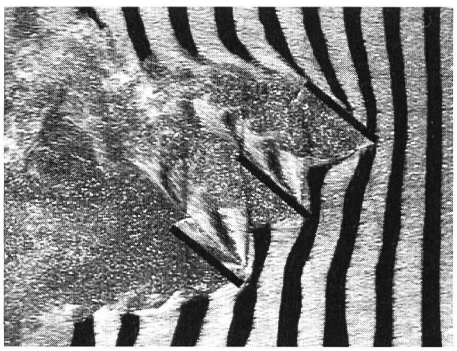


Bild 8, rechts. Abklingende Schwingung von manuell angeregten Stabschwingungen für ein Seitenverhältnis von $e/d = 11$, einem Stababstand von $s = e$ (Stabtiefe $e = 55$ mm) sowie einem Anströmwinkel von $\alpha = 45°$.

serstoffbläschen sind klein genug, um im untersuchten Bereich nur wenig Auftrieb zu erfahren.

Die Beleuchtung wurde mit starken Fotolampen beiderseits des Kanals realisiert, wobei ein optimaler Beleuchtungswinkel für beste Bildqualität gefunden werden musste. Um den Zwischenraum zwischen den Stäben ebenfalls beleuchten zu können, wurden die Stäbe aus Glas gefertigt.

Eine digitale Videokamera (Sony DCR VX1000E) wurde unter dem Plexiglasboden des Kanals montiert und erlaubte die Aufnahme von Bildern im DV-Format mit einer Rate von 25 Bildern pro Sekunde.

Einzelstab

In einer ersten Versuchsreihe wurden Bilder am festgehaltenen Einzelstab (Seitenverhältnis $e/d = 10$; e = 50 mm; $d = 5$ mm) für variablen Anströmwinkel α durchgeführt.

Bild 2 zeigt das Strömungsfeld, das am festgehaltenen Einzelstab mit einem Anströmwinkel $\alpha = 0°$ beobachtet wird (Strömung von rechts nach links). Der Nachlauf hinter dem Profil zeigt eine typische Strömungsinstabilität mit Wirbelbildungen. An den Eintrittskanten des Stabs löst sich die Strömung ab, liegt dann aber bereits nach kurzer Strecke wieder an den Stabseiten an.

Im Falle eines Anströmwinkels von $\alpha = 45°$ (Bild 3) bildet sich ein grosses, zeitlich veränderliches Ablösungsgebiet stromabwärts des Stabes aus. Man beobachtet eine alternierende Wirbelbildung an der Eintrittskante und der Austrittskante.

In einer zweiten Messserie wurde der von der Strömung zu Schwingungen angeregte Einzelstab untersucht. Schwingungen traten auf, sobald der Anströmwinkel 35° übertraf. Die beobachteten Schwingungen sind gekoppelte Schwingungen gleicher Frequenz in Richtung der beiden Freiheitsgrade. Bild 4 zeigt vier typische Strömungsbilder, welche innerhalb einer Schwingperiode aufgenommen wurden.

Stäbe im Gitterverband

Stäbe im Gitterverband wurden in Konfigurationen mit drei und fünf Stäben untersucht. Die 5-Stab-Konfiguration wurde mit einem variablen Stababstand s (lichte Weite) getestet. Der maximale Stababstand entsprach gerade der Stabtiefe e. Der Anströmwinkel wurde in einem Bereich von $\alpha = 0°$ bis $\alpha = 45°$ und die Strömungsgeschwindigkeit zwischen 0,1 m/s and 0,16 m/s variiert. Für alle diese Versuchsbedingungen konnte keine Schwingungsanregung beobachtet werden. Ein typisches Strömungsbeispiel zeigt Bild 7.

Ziel der Versuche mit drei Stäben war es, den kritischen Stababstand s_{krit} zu finden, bei welchem eine erste Anregung von Schwingungen zu beobachten ist. Für grosse Zwischenräume mit Stababständen von $2e$ sieht das Strömungsbild sehr ähnlich dem des Einzelstabes aus, wie aus Bild 5 hervorgeht.

Durch eine kontinuierliche Reduktion des Zwischenraumes konnte der kritische Stababstand bei $s = 1{,}1e$ gefunden werden ($s_{krit} = 55$ mm). Oberhalb des kritischen Stababstandes führt der Wirbelbildungsmechanismus gleich wie beim Einzelstab zu Schwingungsanregung (Bild 6), unterhalb treten keine Schwingungen auf.

Um sicherzustellen, dass der Stababstand den alleinig verantwortlichen Parameter darstellt, wurde die Stabtiefe e erhöht. Es konnte bestätigt werden, dass wiederum für Stababstände $s < 1{,}1e$ ($s_{krit} = 60$ mm) keine Schwingungen angeregt werden. Dies ist auch im Falle «harter» Anregung bestätigt, das heisst bei zusätzlicher manueller, äusserer Anregung von Schwingungen. In diesem Fall klingen die Schwingungen nach wenigen Perioden ab (Bild 8).

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend aus der Studie können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Der kritische Stababstand s_{krit}, ab welchem die Gefahr von strömungsinduzierten Schwingungen besteht, beträgt das 1,1fache der Stabtiefe e. Rechenschwingungen werden also vermieden, wenn der Stababstand $s < e$ gewählt wird.
- Für einen vorgegebenen Stababstand besteht die Möglichkeit, durch Vergrösserung der Stabtiefe e (bei verändertem Seitenverhältniss e/d) die wirbelbedingte Anregung zu unterbinden.

Literatur

Kerenyi, K., 1997: «Schwingungsuntersuchung eines Rechenstabprofils mit zwei Freiheitsgraden». Doctoral dissertation Technische Universität Wien.

March, P. A.; Vigander, S. 1980: TVA experiences with flow-induced vibrations, Practical experiences with flow-induced vibrations, Springer.

Naudascher, E., and *Rockwell, D.,* 1993: «Flow induced vibrations – An engineering guide».

Nguyen, D. T.; Naudascher, E., 1991: Vibration of beams and trashracks in parallel and inclined flows, ASCE Journal on Hydraulic Engineering, Vol. 117, No. 8, p. 1056.

Thang, N. D., Rao, B. C. S., Naudascher, E., 1988: Field and Model Studies on Trashrack Vibrations, Proceedings International Conference on Model Prototype Correlation of Hydraulic Structures, ASCE, Colorado Springs, USA.

Adressen der Verfasser: *Kornel Kerenyi* und *Stefan Hillisch,* Institut für Konstruktiven Wasserbau, Technische Universität Wien, A-1040 Wien.

Thomas Staubli, Fluidmechanik und Hydromaschinen, Hochschule Technik und Architektur Luzern der Fachhochschule Zentralschweiz, in CH-6084 Horw.