Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 75 (1983)

Heft: 11-12

Artikel: Die Belüftung des Abflussstrahls bei grossen Hochwasserentlastungsanlagen : einige Bemerkungen zu einer neuen Anwendung

Autor: Giezendanner, Walter / Rüfenacht, Hans Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941296

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: 09.08.2025

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

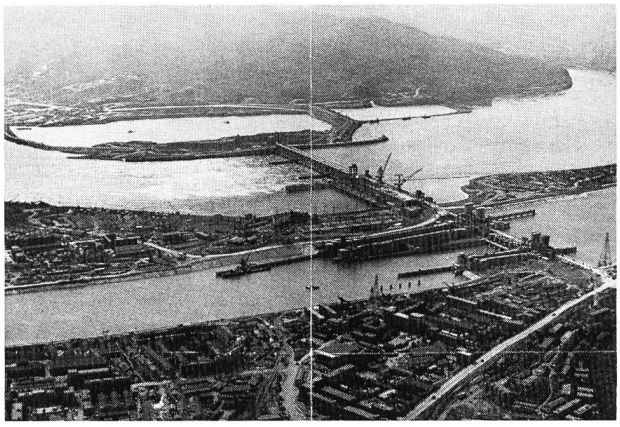


Bild 4. Übersicht der Baustelle Gezhouba, Januar 1981.

Das Energiepotential ist dabei gesichert, aber die Stauhaltung wird unter dem grossen Transport von Festbestandteilen bald verlanden.
Mit der beim Bau des Werkes Gezhouba gewonnenen Erfahrung kann hernach oberhalb der Drei Schluchten ein weiterer Abschnitt des Gefälles ausgebaut werden.

Adresse des Verfassers: *Eduard Gruner,* dipl. Ing. ETH, Rütimeyerstrasse 58, 4054 Basel.

Die Belüftung des Abflussstrahls bei grossen Hochwasserentlastungsanlagen

Einige Bemerkungen zu einer neueren Anwendung

Walter Giezendanner und Hans Peter Rüfenacht

1. Allgemeines

Dass fliessendes Wasser bei hohen Geschwindigkeiten in Schussrinnen von Hochwasserentlastungen Kavitationsschäden hervorrufen kann, ist allgemein bekannt. Dass aber durch Lufteintrag das Kavitationspotential soweit vermindert werden kann, dass sogar die Spezifikationen für die Oberflächen des Gerinnes grosszügiger gehalten werden können, ist erst in den letzten Jahren wirklich klar geworden.
Häufige Schäden an Betonteilen von Hochwasserentlastungen (sowie auch an Grundablässen) haben dazu geführt, Kriterien für die Beschaffenheit der Betonoberflächen zu entwickeln [1, 2, 3]. Diese Kriterien fordern z.B. für Fliessgeschwindigkeiten von 35 m/s, dass Unebenheiten, vorstehende Betonteile respektive Absätze kleiner als 3 respektive 1 mm und kontinuierliche Neigungsänderungen kleiner als 1:50 sein sollen. Der Praktiker wendet sofort ein, dass solche Forderungen, vor allem unter Baustellenbedingungen in Drittweltländern kaum zu realisieren sind.
Mit dem künstlichen Eintrag von Luft in den Wasserstrahl hat nun dieses Problem einen erstaunlich einfachen und billigen Lösungsansatz gefunden. Die wertvollsten Erkenntnisse stammen aus Prototyperfahrungen und nicht aus Modellversuchen, weil Lufteintragsphänomene in der normalerweise benützten Froud'schen Modellähnlichkeit nur unvollständig abgebildet werden.
Die folgenden Erläuterungen können dem Entwerfer gewisse Anhaltspunkte geben, da etablierte «Regeln der Kunst» auf diesem Gebiet noch kaum bestehen.

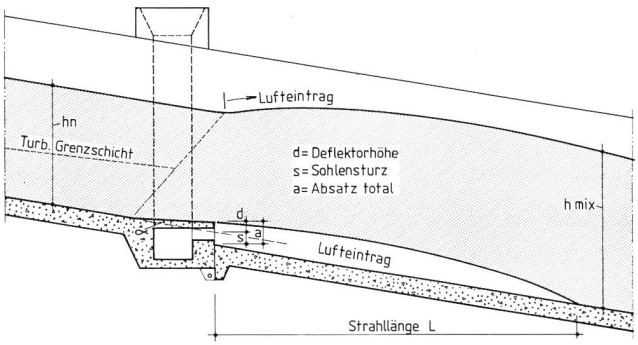
2. Die Wirkung der Luft im Wasser

Schon sehr wenig Luft im Wasser (von der Grössenordnung von 1% und weniger) erhöht die Kompressibilität des Gemisches um ein Vielfaches. Diese Tatsache kann leicht an einem modernen Wasserhahn mit Lufteintrittsdüse beobachtet werden: Der belüftete Strahl spritzt beim Auftritt auf einen Körper (z.B. Lavabo) weit weniger als ein unbelüfteter Strahl.
Im grossen Massstab resultieren aus einer Belüftung folgende Vorteile:
Kavitation: Überall, wo Wasser bei Geschwindigkeiten von mehr als 12 bis 20 m/s plötzliche Richtungsänderungen erfährt, ist Kavitation zu befürchten. Die infolge lokalem Unterdruck auftretenden Dampfblasen verursachen bei ihrem Verschwinden (Implodieren) Druckschläge, welche ihre Umgebung mechanisch beanspruchen und auf Materialien wie Beton verheerende Wirkung haben können. Durch den Lufteintrag wird nun einerseits der lokale Unterdruck vermindert, andererseits die Kompressibilität des Luft/Wasser-Gemisches erhöht und somit die Kavitationsgefahr stark reduziert oder ganz vermieden. Es können nun in der Praxis auch Risse im Beton, ja sogar grössere Unebenheiten (schlecht ausgearbeitete Fugen, usw.) leichter akzeptiert werden.
Oberfläche des abfliessenden Wassers: Infolge der erhöhten Kompressibilität können sich Unregelmässigkeiten wie z.B. Kreuzwellen weniger gut bilden und fortpflanzen. Die Folge davon ist eine gleichmässigere Wasseroberfläche.
Aufpralleffekte: Erfahrungen haben gezeigt, dass die Erosionswirkung (Kolkung) belüfteter Wasserstrahlen beim Aufprall in ein natürliches Tosbecken geringer ist als beim nicht belüfteten Strahl. Dazu dürften nebst der höheren Kompressiblität des Wasser/Luft-Gemisches auch die leicht reduzierte Geschwindigkeit und die geringere Dichte beitragen.

3. Massnahmen zum Lufteintrag

Ein natürlicher Lufteintrag in Freispiegelabflüssen stellt sich normalerweise dort ein, wo die turbulente Grenzschicht die Oberfläche erreicht. Da dieser Punkt aber im allgemeinen erst an einer Stelle erreicht ist, die etwa in einer Distanz von 100mal der Wassertiefe unterhalb des kri-

a) Konservative Lösung mit Luftzufuhrkanal und seitlichem Schacht.



b) Lufzufuhr durch Hohlraum nach Absatz und seitlichem Schacht oder Wandabsatz.

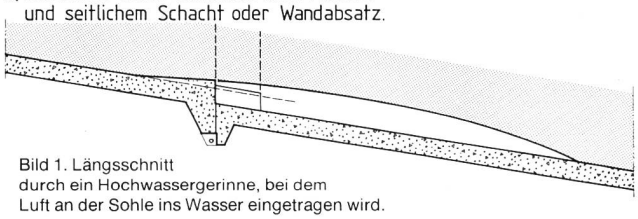


Bild 1. Längsschnitt durch ein Hochwassergerinne, bei dem Luft an der Sohle ins Wasser eingetragen wird.

tischen Abflusses liegt, und da die Luft vor allem an der Gerinnesohle benötigt wird, genügt dieser Lufteintrag meistens nicht. Ein künstlicher Lufteintrag ist daher nötig.
Für eine künstliche Belüftung wird das Prinzip der Wasserstrahlpumpe herangezogen. Um den dazu nötigen freien Strahl an der Sohle zu erzeugen, wird dort ein Absatz eingebaut. Dieser besteht entweder aus einer gegenüber der ursprünglichen Sohle stufenförmig nach unten verlegten Sohle oder aus einer vor dem Absatz kontinuierlich überhöhten Sohle, auch als Deflektor bezeichnet. Häufig wird auch eine Kombination von beiden Prinzipien angewendet (Bild 1). Der zwischen dem sich nach dem Absatz ablösenden Wasserstrahl und der Sohle bildende Hohlraum wird zur Zufuhr von Luft aus seitlichen Öffnungen oder seitlichen Absätzen verwendet. Um eine gleichmässige Belüftung des ganzen Querschnittes zu erreichen, wird die Luft oft auch durch einen im Absatz untergebrachten Kanal zugeführt.
Erfahrungen zeigen, dass eine vor dem Absatz überhöhte Sohle (Deflektor) durch die auf das Wasser übertragene Umlenkung oder Störung eine günstige Wirkung auf die Luftaufnahme hat. Ein solcher Deflektor gibt gute Resultate, wenn er einen Umlenkwinkel α (Bild 1) von etwa 1:6 bis 1:10 relativ zum ursprünglichen Sohlengefälle hat und mindestens 2 bis 3 m lang ist.
Die Grösse der Luftaufnahme durch den Wasserstrahl ist von einigen Parametern abhängig. *Pinto* und *Neidert* [4], [5] haben sie in erster Linie als Funktion des Koeffizienten Wasserstrahllänge/Wasserhöhe (L/h) dargestellt. *Eccher* und *Siegenthaler* [9] zeigen sie als Funktion von Unterdruck, Deflektorhöhe und Geschwindigkeit auf.

4. Praktische Angaben

Die untere wirtschaftliche Grenze für die Belüftung von Freispiegelabflussgerinnen liegt bei Abflussgeschwindigkeiten von 20 bis 35 m/s. In diesem Bereich scheinen Absätze mit einer Höhe von 1,0 bis 1,5 m und daraus resultierende freie Strahllängen von 10 bis 25 m optimal. Daraus folgen spezifische Luftaufnahmen der folgenden Grössenordnung:
Für spez. Wasserabflüsse grösser als 50 m^3/s

Geschwindigkeit	Luftaufnahme	
	ohne Deflektor	mit Deflektor
[m/s]	[m^3/sm]	[m^3/sm]
20–25	3– 8	5–12
25–30	4–10	7–15
30–35	6–12	10–20

Über etwa 150 m^3/s spezifischem Wasserabfluss steigt die spezifische Luftaufnahme nur noch schwach an.
Im Bereich des freien Strahles werden vor allem die untersten 30 bis 60 cm belüftet. Im Bereich des Wiederauftritts des Strahls auf die Sohle beträgt dort die Luftkonzentration 40 bis 50%. Diese Konzentrationsspitze wandert dann infolge des Auftriebes, den die Luftblasen erfahren, fast kontinuierlich gegen die Wasseroberfläche ab, und an der Sohle, gemäss Prototypmessungen, nimmt die Konzentration kontinuierlich ungefähr 1%/m ab [12].
Will man also die zur Kavitationsverhinderung als erforderlich betrachteten Prozente Luftgehalt zwischen 3 und 8% nicht unterschreiten, muss man ungefähr 40 bis 60 m unterhalb des Strahlauftrittspunktes oder 50 bis 80 m nach der letzten künstlichen Belüftung einen weiteren Belüfter einbauen.
Die Kosten der Belüftung sind verhältnismässig gering und fallen an zwei Orten an: 1. Die eigentliche Belüftung mit entweder nur Absatz oder Absatz und Luftzuführkanal in der Sohle sowie den seitlichen Luftzufuhrkaminen. 2. Die Erhöhung der Seitenmauern der Schussrinne infolge erhöhter Abflussdichte des Wasser/Luft- Gemisches. Letztere ist abhängig von der Luftkonzentration C und errechnet sich laut [8] zu:

$$h_{mix} = h_n \frac{1}{(1-C^2)} \cdot \frac{1}{1-C}$$

Dabei ist zu beachten, dass der Lufteintrag nicht nur durch die Belüfter selbst, sondern auch von der Oberfläche her erfolgt, da am Ort der Störung des Strahls durch einen Deflektor die turbulente Grenzschicht fast plötzlich zur Oberfläche vorstösst und dort den Lufteintrag, früher als unter normalen Umständen, ermöglicht.
Das Augenmerk wird sich in Zukunft weiterhin auf Resultate von Prototypmessungen und deren wissenschaftliche Auswertung richten, da die bis heute bekannte Literatur noch wenig allgemeingültige Angaben liefert.

Bild 2. Hochwasser, das über die Sperre von Emborreaçao (Brasilien) abgeleitet wird (Titelblatt der Fachzeitschrift «Water Power and Dam Construction» *35* [1983], Heft 8).

Literatur

[1] *Ball J.W.:* Construction Finishes and High Velocity Flow. «ASCE JCD», Sept, 1963.

[2] *Ball J.W.:* Cavitation from Surface Irregularities in High Velocity. «ASCE JHD». Sept. 1976.

[3] *Falvey H.T.:* Predicting Cavitation in Tunnel Spillways. «Water Power and Dam Construction», Aug. 1982.

[4] *Pinto N.L., Neidert S.H.* und *Ota J.J.:* Aeration at High Velocity Flows. «Water Power and Dam Construction», Febr. 1982.

[5] *Pinto N.L., Neider S.H.:* Evaluating Entrained Air Flow through Aerators. «Water Power and Dam Construction», Aug. 1983.

[6] *Coleman, H.W., Simpson A.R., Garcia, L.M.:* Aeration for Cavitation Protection of Uribante Spillway. Aug. 1983.

[7] *De Fazio F.G.* and *Wei C.Y.:* Design of Aeration Devices on Hydraulic Structures, «ASCE», Aug. 1983.

[8] *Vischer D., Vokart P.* and *Siegenthaler A.:* Hydraulic Modelling of Air Slots in Open Chute Spillways. «BHRA Fluid Engineering», Sept. 1982.

[9] *Eccher L.* and *Siegenthaler A.:* Spillway Aeration of the San Roque Project. «Water Power and Dam Construction», Sept. 1982.

[10] *Aksoy S., Ethembabaoglu S.:* Cavitation Damage at the Discharge Channels of Keban Dam. ICOLD 1979.

[11] *LOWE III J., Bangash H.D., Chao P.C.:* Some Experience with High Velocity Flow at Tarbela Dam Project. ICOLD 1979.

[12] *Semenkow V.M., Lentyaev, L.D.:* Spillway with Nappe Aeration. «Gidrotekhnischeskoe Stroitel'stvo» No 5, 1973.

[13] US Bureau of Reclamation: Concrete Manual. Eighth Edition, 1975.

Adresse der Verfasser: *Walter Giezendanner,* dipl. Bauing. ETH, Hydrauliker, und *Hans Peter Rüfenacht,* dipl. Bauing. ETH, Société Générale pour l'Industrie (SGI) Ingénieurs-Conseils, avenue Louis-Casaï 71, case postale 158, CH-1216 Genève/Cointrin.