

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 78 (1986)
Heft: 7-8

Artikel: Suisse: 40% d'électricité d'origine nucléaire
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940862>

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>

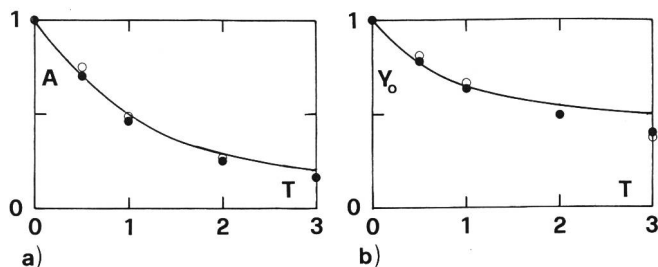


Bild 4. Vergleich der Absenkenfunktionen a) $A(T)$ und b) $Y_0(T)$ anhand (—) der Bilder 2 und 3, (●) Gl.(6) und (O) Gl. (19).

Porosität $\bar{n} = 0,55$. Welcher Strömungsvorgang ist zu erwarten, falls der Speicher innerhalb von 3 Tagen vollständig unter konstanter Sinkgeschwindigkeit entleert wird?

Nach Zeller [7] muss bei instationären Grundwasserströmungen die effektive Porosität n berücksichtigt werden. Sie hängt (neben anderen, nicht näher untersuchten Einflüssen) insbesondere vom k -Wert ab und lässt sich durch

$$\frac{n}{K} \frac{\partial h}{\partial t} = h_m \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad (18)$$

darstellen. Somit ergibt sich $n = 0,26 \cdot 0,55 = 0,15$.

Die Absenkungsgeschwindigkeit beträgt $v_o \approx 50 / (260\,000) = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, also $\sigma = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,466^2 / (0,15 \cdot 2 \cdot 10^{-4}) = 0,36$ nach Gleichung (12). Nach Bild 2 werden somit Verzögerungseinflüsse auf die Funktionen $a(t)$ und $h_o(t)$ signifikant. Bild 4 zeigt sie als ausgezogene Linien. Gleichzeitig in die Darstellung eingetragen sind Lösungen anhand der Gl. (6) und der zugehörigen, linearisierten Beziehung

$$n = \left\{ \frac{K}{1 + \sqrt{K+K}} \right\}^{1/4} \cdot \bar{n} \quad (19)$$

mit h_m als mittlere (konstante) Höhe, $h_m = H/2$. Die numerischen Resultate sind mit dem finite Elementenprogramm ADINAT [1] erzielt worden. Daraus ist ersichtlich, dass grundsätzlich Übereinstimmung zwischen den drei Berechnungsmodellen herrscht. Jedoch liegen insbesondere für die Funktion $Y_0(T)$ Abweichungen von der Grössenordnung $|\Delta Y_0| \leq 0,1$ vor. Die Abweichungen zwischen den Beziehungen (6) und (19) betragen bis zu $|\Delta Y_0| \leq 0,05$. Wird somit die Absenkungscharakteristik anhand von numerischen Modellen berechnet, so ist die nicht-lineare Version zu berücksichtigen.

Eine zusätzliche Information über den ebenen Absenkvorgang zeigt Bild 5, in der die freie Oberfläche $h(x)$, typische Equipotentiallinien ($\Delta\Phi = 2 \text{ m}$) sowie hydraulische Gradienten i zu verschiedenen Zeiten T eingetragen sind ($t^* = 3$ Tage). Insbesondere aus Bild 5a) ist ersichtlich, dass die Strömung während der Anfangsphase nur näherungsweise als horizontal betrachtet werden darf.

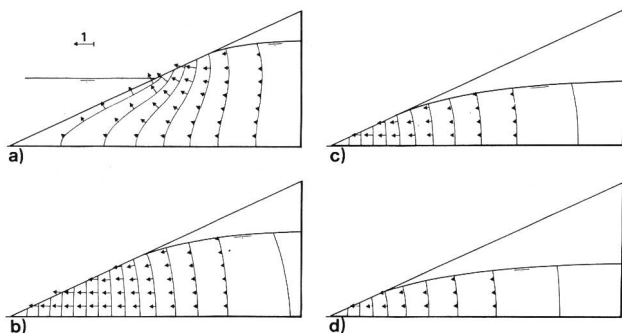


Bild 5. Absenkungscharakteristik für das Beispiel, a) $T=0,5$, b) $T=1$, c) $T=2$ und d) $T=3$.

Schlussfolgerungen

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit dem Bewegungsvorgang der freien Oberfläche in einem homogenen, ebenen Damm infolge rascher Absenkung des Speichersees. Anhand eines eindimensionalen Ersatzmodells ergeben sich zufriedenstellende Resultate bezüglich des Austrittspunktes. Die Berechnungsmethode wird durch ein typisches Beispiel erläutert und mit Resultaten genauerer Verfahren verglichen.

Literaturnachweis

- [1] Bathe, K.J., «An automatic dynamic incremental nonlinear analysis of temperature, ADINAT». Report AE81-82, ADINA Engineering, Inc., Woburn, Ma., USA, 1981.
- [2] Desai, C.S., Sherman W.C., «Unconfined transient seepage in sloping banks», Proc. ASCE, «J. Soil Mechanics and Foundation Division», Vol. 97, 1971, SM 2, pp. 357-373.
- [3] Dvinoff, A.H., Harr, M.E., «Phreatic surface location after drawdown», Proc. ASCE, «J. Soil Mechanics and Foundation Division», Vol. 97, 1971, SM 1, pp. 47-58.
- [4] Mahmood, K., Yevjevich, V., «Unsteady flow in open channels», Water Resources Publications, Fort Collins, Col., 1975.
- [5] Thirriot, C., «Ecoulement non-permanent de filtration dans les barrages en terre», XI Convegno di Idraulica e costruzioni idrauliche, Genova 25-27, Ottobre 1968, Societa Editrice Riviste Industrie Elettriche, Milano, 1969.
- [6] Zeller, J., «Sickerströmungen als Folge von Stauspiegelschwankungen», Mittl. Versuchsanstalt Wasser- und Erdbau, VAW, Nr. 50, 1960, Sonderdruck «Schw. Bauzeitung», Vol. 79, 1961, Heft 4.
- [7] Zeller, J., «The significance of aquifer porosity in non steady seepage flow with free surface», IXth IAHR Congress, II/3, 1-10, Belgrade, 1961.

Adressen der Verfasser: Dr. sc. techn. Willi H. Hager, Chaire de Constructions Hydrauliques, CCH, und Dr. sc. techn. dipl. Bauing. Laurent Vulliet, Laboratoire de Mécanique des Sols, LMS, Département de Génie Civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, CH-1015 Lausanne.

Suisse: 40 % d'électricité d'origine nucléaire

Rapport annuel 1985 de l'Association suisse pour l'énergie atomique (ASPEA)

Presque 40 % de l'électricité produite en Suisse ont été fournis l'année dernière par les cinq centrales nucléaires du pays dont la production nette, qui s'est élevée à 21,2 milliards de kWh, a augmenté de 22,5 % par rapport à 1984. Les centrales nucléaires ont ainsi fourni une contribution déterminante à la sécurité de l'approvisionnement électrique. Malgré une consolidation aussi marquante de la position de l'énergie nucléaire dans les secteurs électrique et économique, l'acceptation de cette énergie a subi, en Suisse également, un énorme revers du fait de l'accident de Tchernobyl, comme le constate M. Alain Colomb, président de l'Association suisse pour l'énergie atomique (ASPEA), dans le rapport annuel 1985, qui vient de paraître, de cette organisation.

Dans son introduction au rapport annuel 1985 de l'ASPEA, le président Colomb souligne que Tchernobyl a, sans aucun doute, gravement entaché la réputation de l'énergie nucléaire. Cet accident illustre une fois de plus combien les humains dépendent les uns des autres, malgré les frontières nationales. Mais M. Colomb souligne également que comme par le passé, les spécialistes de l'énergie nucléaire estiment avoir un bon dossier dans les mains: «Malgré Tchernobyl, c'est toujours encore le meilleur dossier qui existe dans le secteur énergétique.» En ce qui concerne les répercussions internationales de l'accident, M. Colomb consi-

dère par ailleurs «qu'il serait illusoire de renoncer à exploiter ou à construire de nouvelles centrales nucléaires dans notre pays car d'autres pays même voisins n'y renonceraient pas eux, ne changeant rien ainsi au risque minime auquel nous sommes tous soumis». Le président de l'ASPEA rappelle dans ce contexte les effets défavorables à notre économie qu'impliquerait la perte de savoir-faire dans une technologie de pointe importante, et il souligne la nécessité de veiller, par un bon travail de professionnels et des efforts intenses dans le domaine de l'information, «à ce que l'énergie nucléaire soit acceptée non seulement par les spécialistes, mais aussi à nouveau par les milieux politiques et par la population».

Comme on peut le lire dans le rapport annuel de l'ASPEA, les centrales nucléaires suisses ont réalisé en 1985 une production globale nette d'électricité de 21,2 milliards de kWh, ce qui correspond à 38,8 % de la production électrique nationale. De plus, les installations de Beznau et de Gösgen ont une fois encore livré des quantités considérables d'eau surchauffée et de vapeur industrielle.

La *centrale nucléaire de Beznau 1*, des Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse SA (NOK), Baden, a atteint en 1985 un taux d'utilisation de 86,1 %, avec une production nette de 2,630 milliards de kWh. L'installation a été arrêtée le 31 mai 1985 pour le quatorzième changement de combustible et pour les travaux habituels de révision et de maintenance. Une fois ces travaux achevés, la centrale a pu à nouveau atteindre sa pleine puissance le 5 juillet 1985.

Le taux d'utilisation de *Beznau 2* s'est élevé à 85,9 %, avec une production nette de 2,628 milliards de kWh. La centrale a été arrêtée le 19 juillet 1985 pour le treizième changement de combustible et pour les travaux nécessaires de maintenance. Les travaux prévus ont pu être achevés dans les délais, et la centrale a à nouveau fonctionné à pleine puissance sans interruption depuis le 31 août 1985. La production électrique brute des deux tranches avec réacteurs à eau sous pression, d'une puissance unitaire de 364 MW, s'est élevée en 1985 à un total de 5,492 milliards de kWh. Depuis leur mise en service, elles ont fourni plus de 78,5 milliards de kWh.

La *centrale nucléaire de Mühleberg*, des Forces Motrices Bernoises SA (FMB), Berne, a atteint en 1985 l'excellent facteur de charge de 87,6 %. La production nette d'électricité s'est élevée à 2,501 milliards de kWh. En plus de la révision annuelle projetée avec changement de combustible, qui a été effectuée entre le 6 août et 11 septembre, l'installation a été arrêtée en janvier pendant deux jours par examen l'état de certaines soudures dans les boucles de recirculation, comme cela était prévu. Depuis la mise en service de la centrale, en novembre 1972, jusqu'à la fin de 1985, la production électrique nette a atteint un total de 31,411 milliards de kWh, ce qui correspond à un facteur de charge moyen légèrement augmenté de 85,5 %, facteur de charge qui a dépassé 85 % pendant onze années consécutives. La centrale nucléaire de Mühleberg a ainsi enregistré, aussi bien en 1985 que pendant l'ensemble de sa durée d'exploitation, l'un des facteurs de charge les plus élevés sur le plan international.

La sixième année d'exploitation de la *centrale nucléaire de Gösgen* a à nouveau été une année fructueuse. La production nette d'électricité s'est élevée à 6,753 milliards de kWh et le taux d'utilisation à 84,2 %, résultats qui ont une nouvelle fois placé l'installation dans le groupe de tête au niveau mondial. La révision prévue a dû être prolongée de quelques jours pour réparer l'une des trois pompes du circuit principal de refroidissement, ainsi que le rotor du généra-

teur. L'arrêt de la centrale nucléaire pour le changement de combustible et la révision annuelle a eu lieu du 6 juin au 10 juillet. Le Conseil fédéral a octroyé en décembre 1985 à l'exploitant l'autorisation d'élever la puissance de la centrale. Cette élévation s'opère par étapes et fait chaque fois l'objet d'une autorisation de la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN). C'est ainsi que la puissance de la centrale de Gösgen a été élevée dans une première étape de 920 à 940 MW le 17 décembre.

La *centrale nucléaire de Leibstadt*, équipée d'un réacteur à eau bouillante, a été mise en service industriel mi-décembre 1984. Au cours de l'exercice, la production électrique nette de la centrale a été de 6,741 milliards de kWh, ce qui correspond à un taux d'utilisation de 81 % et représente un très bon résultat pour une première année de service, tant sur le plan national qu'international. Pour un total d'investissements de 4,8 milliards de francs dans le décompte de construction, le prix de revient de l'électricité s'est établi à 9,23 ct./kWh en 1985. Suite à un rendement supérieur de la turbine, l'installation a atteint une puissance nette de 950 MW au lieu des 942 MW garantis par le constructeur. En raison de la bonne tenue des installations, les autorités de la sécurité ont approuvé fin 1985 une augmentation de la puissance à 104,2 %, ce qui porte la puissance nette de la centrale à 990 MW depuis le début de 1986. Du 13 juillet au 11 septembre 1985 a eu lieu la première révision annuelle au cours de laquelle, outre le premier changement de combustible et les travaux de garantie, il a été procédé à quelques travaux d'amélioration des installations.

Avec l'approbation par le Conseil national de l'autorisation générale pour la *centrale nucléaire de Kaiseraugst* le 20 mars 1985, celle-ci a pris force de chose jugée. Cette approbation a permis au maître de l'œuvre de reprendre les travaux techniques en vue de l'octroi de l'autorisation de construction nucléaire. Afin de pouvoir choisir la solution optimale des points de vue économique et technique de construction, le Conseil d'administration a décidé, pour le lot clés en mains des parties nucléaire et thermique de l'installation, de lancer un nouvel appel d'offres auprès des fournisseurs des centrales de Leibstadt, de Gösgen et de Gundremmingen 2, dont les installations ont été reconnues par les autorités suisses de la sécurité comme des installations de référence en vue de la procédure d'autorisation. La gérance administrative d'Energie Nucléaire de Kaiseraugst SA a été transférée le 1er mai 1986 de Motor-Columbus/ Electricité de France au futur exploitant de l'installation, l'Aar et Tessin, SA d'Electricité, Olten.

La *centrale nucléaire de Graben* SA détient depuis le 31 octobre 1972 une autorisation de site et, depuis 1977, toutes les autorisations nécessaires du canton de Berne. Les travaux de projet n'ont pas été poursuivis en 1985 étant donné que l'autorisation générale, en suspens depuis décembre 1979, n'a pas été octroyée par les autorités fédérales.

En ce qui concerne le projet de *centrale nucléaire de Verbois*, de la SA l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS), les activités ont essentiellement eu pour but de maintenir et de consolider le niveau technique du dossier existant, activités considérées comme essentielles par EOS compte tenu de l'accroissement constant de la demande en énergie électrique en Suisse.

Quant au projet de *centrale nucléaire d'Inwil*, les Forces Motrices de la Suisse centrale ont simplement procédé, comme les années précédentes, à des observations des eaux souterraines, afin de garantir la continuité des mesures. Ce projet n'a pas fait l'objet d'autres travaux en 1985.

En ce qui concerne le développement futur du *chauffage à distance d'origine nucléaire*, il ressort du rapport annuel

1985 de l'ASPEA que fin 1985, 500 consommateurs de chaleur représentant une puissance totale de raccordement de 32000 kilowatts étaient raccordés au réseau Refuna d'approvisionnement en chauffage à distance par la centrale nucléaire de Beznau, le nombre de ces raccordements domestiques devant passer à 1800 lorsque le réseau sera achevé. Quant au projet WAL (approvisionnement en chauffage de la vallée de l'Aar et de la Limmat par la centrale nucléaire de Beznau), un avant-projet réduit a été présenté en janvier 1986, tandis que dans le cas de l'approvisionnement en chauffage de la région d'Olten-Aarau (projet Fola) par la centrale nucléaire de Gösgen, la décision positive des citoyens d'Aarau a permis la fondation d'un consortium d'étude qui va établir un avant-projet avec estima-

tion des coûts. Une étude de projet est également en cours pour l'approvisionnement en chaleur à distance de Berne-Ouest et environs par la centrale nucléaire de Mühleberg et par l'utilisation de gaz provenant du dépôt d'ordures de Teufthal (projet Fembe). Pour l'alimentation future de réseaux locaux de chaleur, l'Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs (IFR) de Würenlingen est en train de mettre au point, en collaboration avec l'industrie, un réacteur suisse de chauffage à faible puissance (SHR). Trois concepts différents ont été présentés. Les rapports qui vont être élaborés sur chacun des projets permettront d'introduire une procédure d'appréciation et de sélection qui sera décisive pour l'examen futur de cette question par la Confédération. (ASPEA, 1-8-1986)

Zum dynamischen Verhalten und zur Überwachung von Wasserkraftmaschinen

H. J. Schmid

Als eine Art Einführung in die Fachtagung «Schwingungen in Wasserkraftzentralen», die am 18. September 1986 in Interlaken durchgeführt wird, veröffentlichen wir die Arbeit «Zum dynamischen Verhalten und zur Überwachung von Wasserkraftmaschinen» von Hansjörg Schmid, Tiroler Wasserkraftwerke Aktiengesellschaft, Innsbruck. Wir danken dem Verein Deutscher Ingenieure, VDI, und dem Verfasser für die Erlaubnis des Druckes dieses Vortrages, der an einer analogen Tagung in Hamburg (7. und 8. November 1985) gehalten wurde. Sie stammt aus den VDI-Berichten 568, wo die zwanzig Referate der Hamburger Tagung «Schwingungsüberwachung von Maschinen – Messung, Diagnose, zustandsorientierte Wartung» schriftlich vorgelegt wurden. Der Band ist beim VDI-Verlag Düsseldorf für 111 DM erhältlich.

Red.

Zusammenfassung

Das primäre Ziel dieses Beitrages ist es, die bei Wasserkraftmaschinen vorkommenden spezifischen dynamischen Belastungen zu charakterisieren, Überlegungen zur Auslegung von Wellensträngen mit den dazugehörigen Lagerungen darzustellen und auch Betriebserfahrungen mit Schwingungsmesseinrichtungen zu erläutern. Anhand einer Vielzahl von Messungen an unterschiedlichen Wasserkraftmaschinen wird die Anwendbarkeit von Richtlinien, und hier im speziellen von VDI 2056 und 2059, Blatt 5, beurteilt.

Summary

The primary objective of the present paper is to characterize the dynamic loadings on hydro-power-shafts, to summarize layout considerations for shafts with their supporting bearings and to present some knowledge on vibration monitoring systems. With the results of a large number of vibration measurements on different hydro-power-machines the applicability of the Standards of VDI 2056 and 2059, Bl. 5, will be discussed.

1. Einleitung

Wasserkraftmaschinen, scheint es, gehören wegen ihrer rotationssymmetrischen Läufer (Generator und Lauf- rad) eher zu den unproblematischen dynamischen Systemen, verglichen mit den komplizierten dynamischen Vorgängen in einer Kolbenmaschine [1]. Wie aber leider Beispiele in der Praxis zeigen, führen die auf den ersten Blick einfachen Rotorsysteme bei Wasserkraftmaschinen vereinzelt zu ernsthaften Schäden und damit zu langen Maschinenausfällen. In den vergangenen Jahren hat man auf dem Wasserkraftsektor, ähnlich wie auch in anderen Bereichen der Technik durch gezielte Forschung und durch den Einsatz von Computerprogrammen eine beachtliche Anhebung des Standards erzielen können [2], [3], [4]. Teilweise ist man dabei, trotz eingehender theoretischer Bearbeitung von Problemen immer noch auf die praktische Erfahrung angewiesen. Mit der Anhebung des Standards ist aber auch eine Reihe von neuen Problemen aufgetaucht, die es nun, speziell im Bereich des dynamischen Verhaltens von solchen Wellensträngen, zu beherrschen gilt [5]. Zwangsläufig hat man zur Erkennung solcher meist hochdynamischer Vorgänge mit regellosem Charakter [6], [7] (Random oder stochastischer Vorgang), die Entwicklung von Schwingungserfassungsgeräten vorangetrieben. Die auf dem Gebiet der Dampf- bzw. Gasturbinenrotoren bereits wesentlich

früher im Einsatz befindlichen Überwachungskonzepte konnten, mit einer Anzahl von Modifikationen, auch im Wasserkraftsektor eingesetzt werden. In den nun folgenden Abschnitten wird versucht, in kurzen Zügen auf spezifische Details des dynamischen Verhaltens und der Überwachung von Wasserkraftmaschinen einzugehen sowie Erkenntnisse, die wir aus dem Betrieb von 43 Maschinenätzen gewonnen haben, zu vermitteln.

2. Dynamische Belastungen des Wellenstranges bei Wasserkraftmaschinen

Dynamische Kräfte treten an einem Wasserkraftmaschinenatz im Bereich des Generators, hervorgerufen durch Unwucht, magnetischen Zug und Kurzschluss und am Turbinenlaufrad aufgrund hydraulischer Druckpulsationen auf (Bild 1). Bereits bei der Auslegung eines neuen Maschinenatzes werden, sofern es sich nicht um eine bereits mehrfach erprobte Einheit (Turbine/Generator) handelt, genauere Untersuchungen zur Erfassung und Klassifizierung der dynamischen Kennwerte durchgeführt. Ausgehend von den spezifischen Einsatzkriterien eines Maschinenatzes können mögliche auftretende dynamische Belastungen in folgendes Schema gebracht werden [8]:

N) Normalbetriebsfälle (kurzzeitig oder Dauerbetrieb)

N1) Turbinenbetrieb innerhalb der festgelegten Einsatzgrenzen (Leistung, Fallhöhe, Drehzahl)