

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 75 (1983)
Heft: 1-2

Artikel: Traitement et analyse des données
Autor: Lombardi, Giovanni
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941243>

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: 14.04.2026

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

Traitement et analyse des données

Giovanni Lombardi

1. Introduction

Avant d'entrer dans les détails techniques d'une éventuelle automatisation de la surveillance des barrages, il est opportun d'encadrer le problème par quelques considérations générales valables aussi bien dans le cas d'une surveillance, disons «manuelle», que dans celui d'une surveillance automatisée.

Tout d'abord il convient de rappeler que le but ultime de la surveillance est la sécurité de l'ouvrage et partant des régions qui se trouvent à l'aval.

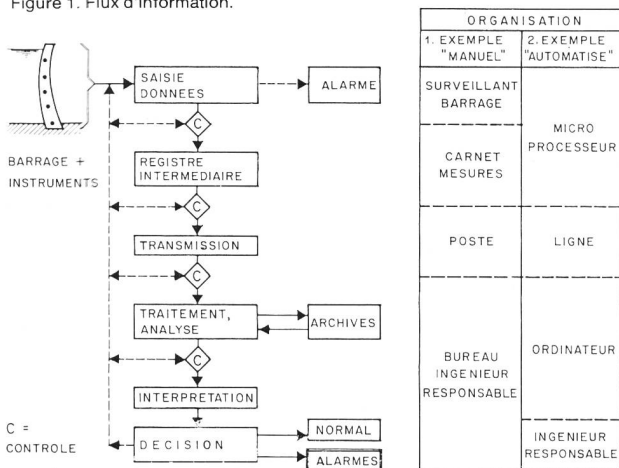
Cette sécurité sera d'autant mieux garantie qu'un éventuel comportement anormal du barrage sera mis en évidence plus rapidement.

Rappelons ensuite que l'auscultation et la surveillance des barrages forment un ensemble d'opérations qui tiennent de l'informatique.

2. Flux de l'information

Il est donc intéressant d'examiner le flux de l'information au cours des opérations relatives à la surveillance. La figure 1 représente ce flux qui est valable indépendamment des moyens mis en œuvre pour le réaliser.

Figure 1. Flux d'information.



Le point de départ est un ensemble formé par le barrage et le sol de fondation avec son instrumentation.

La première opération consiste à saisir des données. Il peut s'agir soit de données indiquées par des instruments, comme déformations, températures, soit de données qui ne peuvent résulter que de l'observation visuelle directe ou d'opérations complexes comme les mesures géodésiques.

La deuxième opération consiste à consigner ces diverses informations et données dans un registre intermédiaire.

Ces informations doivent ensuite être transmises depuis le barrage jusqu'à un lieu de traitement, en général à un bureau.

En cet endroit, elles sont traitées et analysées, elles y sont également mises en archives en vue d'opérations ultérieures.

A la suite de cette analyse, il s'agit d'interpréter les résultats et de prendre des décisions. Pour l'essentiel, les décisions consistent soit à reconnaître que l'état du barrage, c'est-à-dire son comportement, est normal et ne requiert aucune intervention spéciale, ou bien elles consistent à

donner une alarme qui peut, bien entendu, assumer des degrés différents d'urgence et de gravité.

Dans le même graphique, on montre en outre toute une série de contrôles possibles ainsi que des boucles de rétroaction qui permettent de revenir à une étape précédente dans le cas où quelque anomalie aurait été constatée dans l'élaboration. Il s'agit, par exemple, de contrôler que la transmission des données a eu lieu correctement.

A titre d'application, on indique à droite de la figure deux cas d'organisation possibles.

Le premier exemple serait une intervention classique, dite «manuelle», où les données seraient saisies par le surveillant du barrage, et bien entendu de temps en temps également par des spécialistes et des experts.

Le registre intermédiaire est représenté par un carnet de mesures dont les résultats sont transmis par la poste au bureau de l'ingénieur responsable qui procède alors à toutes les opérations d'analyse, d'interprétation, de décision et qui conserve les archives.

Un deuxième exemple, indiqué comme «automatisé», prévoit l'installation sur le barrage d'un microprocesseur qui saisit les informations dont il est capable et les enregistre provisoirement. Ces informations sont transmises par une ligne, par exemple téléphonique, à un ordinateur qui procède à l'analyse et au traitement ainsi que, jusqu'à un certain degré, à l'interprétation des résultats. Il faut néanmoins qu'à un certain moment, l'ingénieur responsable intervienne pour prendre les décisions finales.

A ces deux exemples d'organisation de la surveillance du barrage on pourrait en ajouter bien d'autres, ce qui confirmerait que le flux de l'information que nous avons représenté dans la partie gauche de la figure reste toujours valable.

3. Problèmes particuliers

Un système informatique tel que celui qui vient d'être esquissé soulève immédiatement un certain nombre de problèmes dont on trouve une brève liste à la figure 2.

Le premier point regarde le choix de données significatives. Il s'agit en effet de mesurer des valeurs significatives, c'est-à-dire utiles pour l'interprétation et les décisions à prendre et non de saisir une masse énorme de données qui serviraient peu.

Dans le choix à faire interviennent des critères de sécurité en ce sens que l'ensemble des mesures doit être assez complet, mais aussi un souci d'économie, dans le sens d'éviter de saisir des informations dont l'incidence sur d'éventuelles décisions serait secondaire. On peut ainsi penser que la mesure de valeurs globales ou intégrales, comme la déformation du barrage, est en principe plus intéressante que la mesure d'une valeur locale, comme le serait la contrainte en un seul point du barrage. Le choix en question peut aussi être influencé par le système de saisie et d'analyse utilisé.

Un deuxième problème regarde le degré de précision requis par les diverses mesures. Une précision élevée peut s'avérer nécessaire pour mettre en évidence le début

- Données significatives
- Précision requise
- Fiabilité système
- Sécurité
- Critères d'interprétation
- Rapidité
- Economie
- Cas exceptionnels

Figure 2. Aspects principaux.

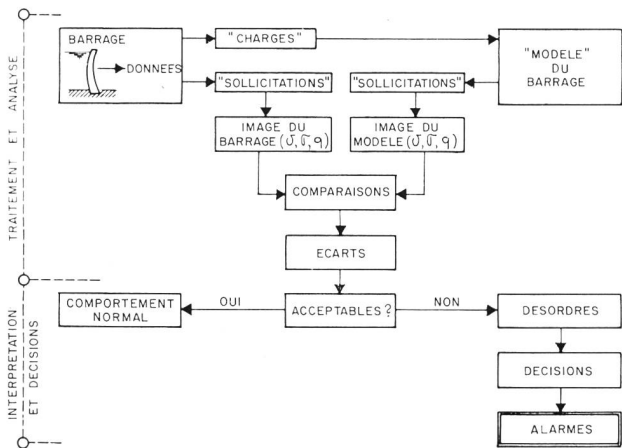


Figure 3. Etude du comportement du barrage.

d'éventuels désordres qui pourraient, à longue échéance, mettre en danger le barrage. Par ailleurs, il serait faux de rechercher une précision excessive si ceci risque de compromettre la robustesse des instruments et donc la fiabilité des mesures.

Un troisième point regarde justement la fiabilité du système tant à brève qu'à longue échéance. Il est en particulier important d'avoir une stabilité suffisante des mesures tout au long de la vie de l'ouvrage, afin de pouvoir mettre en évidence des «dérives» lentes du comportement.

Un quatrième problème concerne la sécurité du système, soit envers des influences naturelles soit envers des interventions de personnes plus ou moins bien intentionnées.

Un problème, ou plutôt tout un groupe de problèmes, concerne la définition des critères d'interprétation. En d'autres mots il s'agit de savoir quels sont les écarts admissibles qui peuvent être dus à des causes fortuites (par exemple à des imprécisions des mesures), et quels sont ceux qui ne le sont plus, c'est-à-dire ceux dont l'origine doit être recherchée dans un désordre du barrage ou de ses instruments.

Un point particulier concerne la rapidité de réaction du système c'est-à-dire en fait l'intervalle de temps qui passe entre la saisie des données et la possibilité de juger l'état du barrage.

Un aspect qu'il ne faut évidemment jamais oublier est aussi celui de l'économie.

Un dernier problème fort difficile regarde les cas imprévus, peut-être même imprévisibles. L'on peut en effet toujours craindre, aussi parfait et complet que puisse être le système de surveillance, que certaines possibilités de désordre n'aient pas été perçues et prises en considération à priori, c'est-à-dire au moment de l'implantation du système.

C'est sans doute ce point qui est le plus délicat lors d'une décision relative à l'installation d'un système entièrement automatisé. On peut en effet s'imaginer qu'une personne compétente sera toujours mieux à même de se rendre compte de quelque particularité imprévue qui pourrait être ignorée par un système automatique.

4. But de l'analyse

Les «données» sont saisies en vue, évidemment, de pouvoir traiter, analyser et interpréter les informations reçues afin de prendre les décisions qui s'imposent.

Au fond les informations reçues fournissent simplement

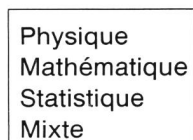
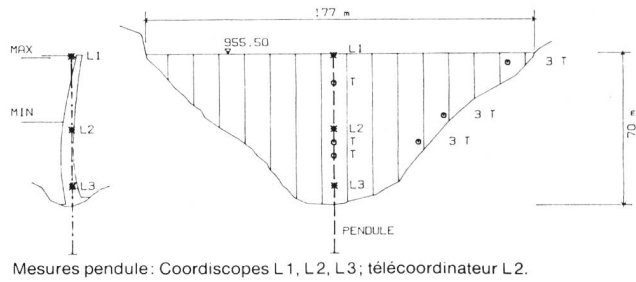


Figure 4. Types de modèles.



Mesures des températures: dans l'axe du barrage 3 thermomètres; zone parament aval 3 thermomètres; zone parament amont 3 thermomètres; aval côté air 2 thermomètres; amont côté eau 2 thermomètres.

Figure 5. Mesures de contrôle du barrage Roggiasca.

une certaine «image» de l'état du barrage et de son évolution, c'est-à-dire de son comportement. Il s'agit maintenant de juger si ce comportement est normal ou s'il présente des anomalies qui demandent des interventions plus ou moins sérieuses et imposent de donner l'alarme. Ce terme d'alarme est d'ailleurs employé ici dans une acception très large pouvant aller de la nécessité de répéter les mesures, d'en augmenter la fréquence, de contrôler les instruments, de procéder à quelques interventions de confortation ou, à la limite, de signaler le danger de rupture imminente de l'ouvrage ou même, cas extrême, de signaler une rupture qui aurait déjà eu lieu.

Si notre jugement se base sur l'image que nous fournissons les instruments et l'observation, encore faut-il que l'image reçue soit assez nette, précise et fiable pour que

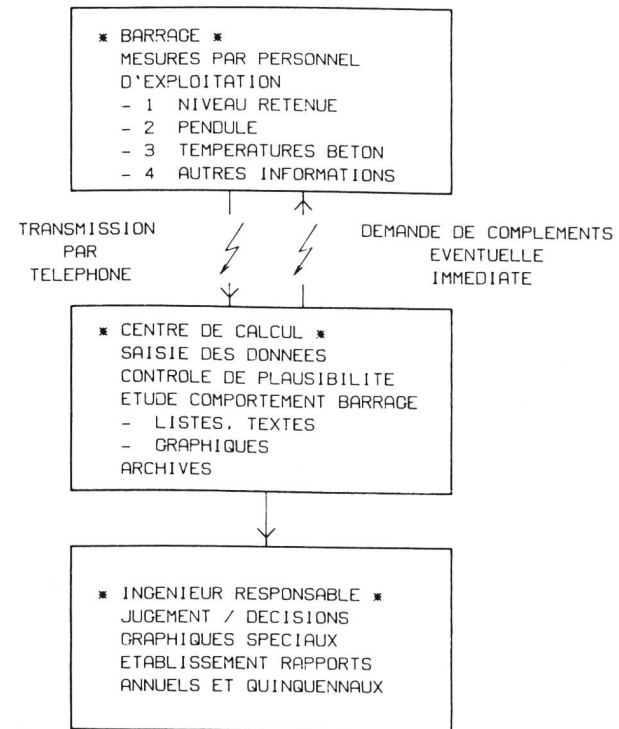
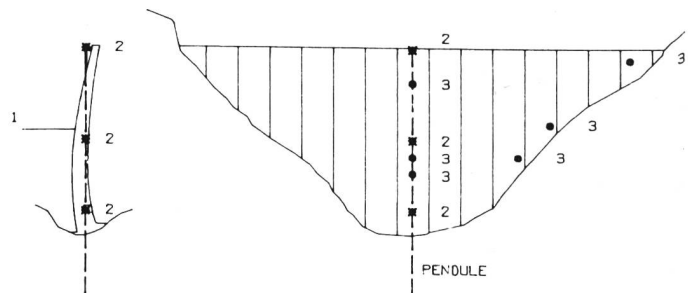


Figure 6. Mesures de contrôle du barrage Roggiasca.

ELETTICITA INDUSTRIALE SA. LOSTALLO KRAFTWRK GRONO STAUMAUER ROGGIASCA (3.12.1982) 316-R- 1												
JAHRE 1980 PENDELMESSUNGEN (IN MM)												
NR.	DATUM	ZEIT	STAU	L1		KCORDISKOP L2		L3		TELEKOORDINATOR L2		
				RAD.	TANG.	RAD.	TANG.	RAD.	TANG.	RAD.	WITTERUNG	NR.
126	29. 1.	14.30	948.18 948.20 948.18	215.80	28.40	164.50	27.40	183.30	15.50	40.10	SCHOEN NORMAL WIND	126
127	26. 2.	9.00	942.48 942.52 942.50	211.20	27.90	166.30	27.85	183.15	15.50	38.10	SCHOEN NORMAL WIND SONNIG	127
128	26. 3.	9.45	944.12 943.48 943.58	208.00	27.35	167.10	27.70	183.10	15.40	37.60	SCHOEN NORMAL WIND SONNIG	128
129	22. 4.	10.30	925.68 928.80 928.92	198.35	27.40	174.30	28.00	181.60	15.20	31.50	SCHOEN STURM SONNIG	129
130	22. 5.	9.00	936.46 935.60 935.82	196.70	27.10	173.30	28.10	182.75	15.60	31.50	SCHOEN NORMAL WIND SONNIG	130
131	27. 6.	8.15	949.30 949.08 948.98	202.15	27.40	168.00	28.10	183.20	15.25	36.15	SCHOEN NORMAL WIND SONNIG	131

Figure 7. Protocole des données.

les décisions puissent se prendre sur une base suffisamment sûre. Ce problème a été traité ailleurs.

5. Principe de l'interprétation

L'interprétation des mesures fournies à l'ingénieur peut se faire de nombreuses manières. Il est toutefois possible de définir une structure logique commune à toutes ces méthodes; elle est représentée à la figure 3.

Essentiellement il s'agit toujours de comparer une «image» du barrage avec une «image» provenant d'un modèle. On définira par la suite ce que l'on entend par modèle. Pour l'instant l'on peut penser à un véritable modèle physique à échelle réduite de l'ouvrage. Comme le montre la figure 3, les données qui proviennent du barrage peuvent être subdivisées en «charges» et «solicitations». Par «charges» on définit, par exemple, le niveau de la retenue et les températures extérieures et intérieures du béton. Par «solicitations» on peut entendre, entre autres, les déformations du barrage, les contraintes ou même les débits d'infiltration.

Le procédé d'analyse consiste à appliquer les charges ainsi définies à un certain modèle du barrage, et à calculer les sollicitations de ce modèle pour obtenir une image de son état. On dispose alors d'une image du barrage et d'une image du modèle. Ces deux images sont étudiées à l'aide de toute une série de comparaisons qui à leur tour mettent en évidence certaines différences, ou, si vous voulez, certains écarts.

Le problème se pose maintenant de savoir si ces écarts sont acceptables ou non. S'ils le sont, le comportement du barrage est déclaré normal; s'ils ne le sont plus, il faut considérer que certains désordres se sont produits. Dans ce dernier cas des décisions doivent être prises et, si besoin est, des alarmes déclenchées. Même si, souvent, les procédés d'analyse du comportement du barrage ne sont pas explicitement exposés selon ce schéma logique, il n'en reste pas moins qu'implicitement ils en suivent les principes.

6. Types de modèles

La figure 4 indique quelques types de modèles qui entrent en ligne de compte.

Il y a tout d'abord le modèle physique à échelle réduite, qui en général n'est toutefois pas employé tel quel, mais est utilisé comme élément de contrôle d'un modèle mathématique. Le modèle mathématique habituel est représenté

par l'ensemble des calculs statiques réalisés. Il s'agit d'un modèle que l'on peut appeler déterministe et qui entend prévoir a priori le comportement du barrage en partant des lois de la physique et d'hypothèses faites sur les caractéristiques de l'ouvrage.

Il est évident que l'on aura toujours certains écarts entre un calcul a priori et le comportement réel du barrage. C'est pour cette raison que l'on peut faire appel à un modèle statistique.

On entend de la sorte définir le comportement normal du barrage sur la base de son comportement passé. Il s'agit, en fait, d'un «auto-modèle» du barrage. Un modèle de ce type a l'avantage de pouvoir s'approcher fort bien de la réalité, mais présente l'inconvénient de n'être disponible qu'après un certain nombre d'années d'exploitation. Il ne pourra donc pas être utilisé pendant les premières années de vie de l'ouvrage qui sont apparemment les plus importantes pour sa sécurité. Il existe toutefois certains phénomènes qui ne peuvent pas être définis autrement.

Par exemple, les infiltrations d'eau à travers un barrage en béton ne peuvent guère être prévues a priori en fonction du niveau de la retenue. Ce n'est qu'à l'aide d'un modèle statistique que l'on pourra mettre en évidence, dans les années successives, d'éventuelles variations des débits par rapport aux années précédentes, et donc une modification du comportement du barrage.

NR.	VERGL. DEF.	MITTEL	ABWEICHUNG	GRENZEN-EINZELMESSUNGEN 169.44-173.44
126	171.98	171.00	0.98	IN ORDNUNG
127	171.94	171.00	0.94	IN ORDNUNG
128	171.90	171.00	0.91	IN ORDNUNG
129	172.03	171.00	1.03	IN ORDNUNG
130	171.95	171.00	0.96	IN ORDNUNG
131	169.66	171.00	-1.33	IN ORDNUNG
132	171.10	171.00	0.10	IN ORDNUNG
133	170.34	171.00	-0.66	IN ORDNUNG
134	171.04	171.00	0.04	IN ORDNUNG
135	169.69	171.00	-1.31	IN ORDNUNG
136	170.70	171.00	-0.30	IN ORDNUNG
137	169.63	171.00	-1.37	IN ORDNUNG
MINIMUM	169.63			
MAXIMUM	172.03			
		MITTLERER FEHLER DER EINZELNEN WERTE	0.98 MM	
		WAHRSCHEINLICHER FEHLER DES MITTELS	0.28 MM	

MITTELWERT :	171.00 MM	
STREUNUNG :	170.71-171.28	IN ORDNUNG
ZUL. GRENZEN DES MITTELWERTES :	170.44-172.44	

Figure 8. Calcul des écarts.

déformation radiale du pendule au niveau L2 est, en tenant compte de sa propre erreur moyenne probable, d'environ 0,8 mm par rapport à la moyenne générale.

Les mesures individuelles peuvent, elles, avoir un écart plus grand, c'est-à-dire varier jusqu'à 2 mm par rapport à la moyenne générale. Cet écart de plus ou moins 2 mm représente environ le 10% de la déformation totale du barrage. Si ces limites devaient être dépassées, il y aurait lieu d'émettre une alarme, sans que cela signifie, évidemment, l'existence d'un danger imminent, mais seulement la nécessité de procéder à une enquête complémentaire.

La figure 10 met bien en évidence ce qui a été dit à propos du modèle du barrage. Le graphique montre la déformation radiale, toujours dans le même point, en fonction du niveau de la retenue. La ligne de gauche se réfère au calcul statique original c'est-à-dire au modèle mathématique établi en 1963, qui se basait sur un module d'élasticité du béton de 250 000 kg/cm².

Les deux lignes de droite de la figure se réfèrent au comportement réel du barrage, pendant de courtes périodes, en avril et en août 1980, pendant lesquelles les températures ont peu varié. On constate immédiatement que le module d'élasticité est bien plus élevé de ce qui avait été admis dans les calculs puisqu'il atteint environ 375 000 kg/cm² pour des variations de brève durée. On peut ainsi mieux ajuster ou étalonner le modèle à la réalité. On constatera à quel point les mesures réalisées pendant chacun des deux mois dénotent un écart très faible par rapport au comportement du modèle mathématique ajusté représenté par la ligne plus inclinée.

Le déplacement d'environ 7,5 mm entre le mois d'août et le mois d'avril est dû à la différence de température. On voit toute l'importance que celle-ci assume pour un barrage mince comme celui de Roggiasca.

Par ailleurs le décalage des deux courbes vers la droite correspond, en partie du moins, à la déformation plastique initiale du béton.

Aussitôt les résultats de calculs disponibles, l'ingénieur responsable doit juger du comportement du barrage et prendre les décisions nécessaires. S'il estime en avoir besoin, il peut obtenir immédiatement par programme toute une série de graphiques qui lui permettent de mieux mettre en évidence les facteurs qui peuvent avoir causé un écart jugé excessif.

De même il obtiendra tous les graphiques nécessaires pour son rapport d'expertise. La figure 11 donne un exemple d'un tel graphique.

9. Conclusions

Le programme qui vient d'être exposé dans ses grandes lignes s'avère fort utile pour analyser rapidement le comportement du barrage et en tirer les conclusions nécessaires. Il n'a pas la prétention d'être entièrement automatique; mais il ne faut sans doute pas aller trop loin dans l'automatisme et il faut faire en sorte que l'ingénieur responsable puisse, et doive même, intervenir chaque fois pour examiner les résultats et se faire une idée claire du comportement de l'ouvrage.

Adresse de l'auteur: *Giovanni Lombardi*, Dr Ing., Studio d'ingegneria Giovanni Lombardi, Via A. Ciseri 3, casella postale 567, CH-6601 Locarno.

Exposé des Journées d'études sur l'automatisation dans la surveillance des barrages du 14 octobre 1982 à Locarno. Ces journées d'études ont été organisées par le groupe de travail pour l'observation des barrages du Comité national suisse des grands barrages.

Das Donaukraftwerk Greifenstein

Gunther Brux

Österreich deckt seinen Strombedarf zu zwei Drittel durch Wasserkraft [1] und etwa zur Hälfte durch Laufkraftwerke, denn die Flusskraftwerke haben leistungsmässig an der Wasserkraft rund 70% Anteil. Den grössten Beitrag dazu liefert die Donau, für die der Rahmenplan auf den 350 km zwischen Passau und Wolfsthal bei 155 m Gefälle zwölf Staustufen mit Laufkraftwerken (Tabelle 1) vorsieht. Davon sind acht in Betrieb und eines im Bau. Das Grossvorhaben, Ausbau der Donau in Österreich (Bild 1), soll in neun Jahren nach insgesamt 40 Jahren Bauzeit 1992 abgeschlossen sein.

Der Ausbau der österreichischen Flüsse bedeutet eine grosse Bauleistung; so beträgt der Bauumfang für die Donaustaustufe Greifenstein, mit deren Bauarbeiten Ende 1981 begonnen wurde,

12,7	Mio m ³ Erdbewegung und
1,6	Mio m ³ Felsabtrag,
1,1	Mio m ³ Bauwerksbeton,
20	Mio kg Betonstahl,
0,35	Mio m ² Schalung,
0,3	Mio m ³ Steinwurf und
0,21	Mio m ² Folie für die
8,4	km lange Baustellenumschliessung bei
128	ha grosser Baugrube.

Diese grösstenteils ununterbrochene Bautätigkeit an der Donau hat zur Weiterentwicklung der Bauverfahren für Flusskraftwerke und Rationalisierung im Bereich des Baubetriebes beigetragen [2]. So wurde je Staustufe die Bauzeit um fast die Hälfte auf 2,5 Jahre verringert, wöchentlich bis 0,1 Mio m³ Erdaushub mit Grossgeräten (Bild 2) bewegt, monatlich bis 0,1 Mio m³ und stündlich bis 400 m³ Beton bereitet (240 m³/h und Mischturm) und stündlich 50 m³ Beton je Rotoband (Rotec-Creter; Grove) (Bild 3) eingebracht bei entsprechend niedrigem Wasserzementwert und geringem Zementgehalt gegenüber Pumpbeton. Die Grösse für Schalungs- und Betonarbeiten zeigt ein Blick auf die frühere Baustelle der Donaustaustufe Melk (Bild 4). Der Maschineneinsatz beim Bau der Donaustaustufe Greifenstein wird 22 000 kW bei bis zu 1500 Beschäftigten betragen.

Die Arbeitsstunde je kW Ausbauleistung konnte in den letzten Jahren von 70 auf 25 verringert werden. Da bei Wasserkraftanlagen die hohen Baukosten den Strompreis massgeblich mitbestimmen, wirkt sich der technische Fortschritt beim Bauen stabilisierend auf die Strompreise aus.

Schifffahrt und Hochwasserschutz

Gleichzeitig mit der Energiegewinnung wird die Donau durch die Errichtung der Staustufen zu einer Fahrwasserstrasse für den Europakahn nach den Empfehlungen der Donaukommission mit einer Mindestfahrwassertiefe von 2,70 m innerhalb einer 150 m breiten Fahrrinne bei allen Schifffahrtswasserständen ausgebaut. Seichtstellen, die derzeit die Schifffahrt bei Niederwasser behindern, werden beseitigt. Der Ausbau der Staustufe Greifenstein bringt eine wesentliche Verbesserung für die Ufergemeinden im Stauraum; die Häufigkeit von Überflutungen wird herabgesetzt, und einzelne Bereiche werden durch die geplanten Baumassnahmen künftig einen vollkommenen Hochwasserschutz bekommen.

Baugrube

Das Hauptbauwerk mit Krafthaus, Wehr und Schleusenanlage wird in einer einzigen, grossen Baugrube im linksufrigen