



**Spezielle Aus-
landstätigkeiten**

**Activités spécia-
les à l'étranger**

**Special interna-
tional activities**

Martin Wieland



1

Die Ghir Bogen-
gewichtsmauer
(Aufnahme
von T. Dolder,
April 2004)
*Ghir arch
dam (photo
courtesy T. Dol-
der, April 2004)*

Projektbeschrieb

Die Ghir Staumauer, auch bekannt unter dem Namen Salman Farsi, befindet sich am Ghareh-Aghaj Fluss nahe der Stadt Ghir. Das Projekt umfasst eine 125 m hohe Bogengewichtsmauer mit einer Kronenlänge von 345 m und einem Betonvolumen von 760'000 m³ (konventioneller Massenbeton). Die Hochwasserentlastung hat acht Öffnungen mit Radialschützen und ist für eine Abflussmenge von 19,800 m³/s bemessen. Zusätzlich werden zwei Tunnels mit einer Gesamtkapazität von 600 m³/s als Grundablass benutzt. Der stark verkarstete Fels an der Sperrstelle bedingte umfangreiche Dichtungsarbeiten in der Fundation (Abdichtung von Karsthöhlen sowie Injektionsschirm). Die totale Länge der Injektionsstollen beträgt rund 5 km und die Gesamtlänge der Bohrlöcher für Injektionen und Drainagen liegt in der Größenordnung von 700 km. Das Volumen des Stauteiches liegt bei 1'400 Millionen m³ und der regulierte jährliche Wasserdurchfluss beträgt 350 Millionen m³. Hauptverwendungszweck ist die Bewässerung von 25'000 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche. Es ist beabsichtigt auch zwei 16 MW Francisturbinen zu installieren, jedoch hat in diesem Projekt

die Energieerzeugung nicht oberste Priorität.

Die Zielsetzung für die Ghir Mehrzweckanlage wurde wie folgt festgelegt (**Bild 1**):

- Speicherung von Wasser für die Bewässerung
- Speicherung von Trinkwasser
- Energieerzeugung
- Hochwasserschutz.

Die Bemessung basiert auf hydrologischen und geologischen Untersuchungen, insbesondere die Erfassung der zahlreichen Karsthöhlen. Spezielle Projektunterstützung wurde für Studien und technische Lösungen im Zusammenhang mit der Ermittlung der Erdbebengefährdung, der Erdbebenberechnung, den Stabilitätsuntersuchungen für die Mauer und auch für die Behandlung der anspruchsvollen Karstprobleme im Sperrenbereich (Abdichtung der Fundation und Bemessung des Injektionsschirms) geleistet.

Auftraggeber des Projektes ist das Ministerium für Energie. Die Projektierung erfolgte durch die Electrowatt-Ekono Ltd. (im Joint Venture mit Stucky-Electrowatt), zusammen mit Mahab Ghodss Consulting Engineers, Tehran, Iran. Das Projekt wurde 1992 in Angriff genommen und sollte spätestens 2007 abgeschlossen sein.

Project Description

The Ghir dam, which is also referred to as the Salman Farsi dam, is located on the Ghareh-Aghaj River close to the city of Ghir. The project consists of a 125 m high concrete arch-gravity dam with a crest length of 345 m, and a concrete volume of 760,000 m³ (conventional mass concrete). The spillway has eight openings with radial gates and is designed for a discharge capacity of 19,800 m³/s. In addition, two tunnels with a total capacity of 600 m³/s are used as bottom outlets.

The highly karstified limestone rock mass at the dam site required the design of underground plugging structures and an extensive grout curtain. The total length of galleries for the grout curtain is 5 km and the length of drillholes for grouting and drainage is of the order of 700 km.

The reservoir capacity is 1,400 million m³ and the regulated annual water discharge is 350 million m³, which is mainly used for the irrigation of 25,000 ha of agricultural land.

Spezielle technische Aspekte des Projektes

Zwei wesentliche technische Herausforderungen mussten in diesem Projekt gelöst werden, nämlich die Behandlung der Karstvorkommen in der Fundation der Mauer und die hohe Erdbebengefährdung.

Karst

Die Verkarstung des Untergrundes hat man während den Baugrunduntersuchungen im Bereich des rechten Widerlagers festgestellt. Während dem Fundationsausheben, dem Stollenvortrieb und bei der Untersuchung von Karstgängen stellte sich heraus, dass die karstifizierten Felszonen bedeutend grösser waren als ursprünglich angenommen. Deshalb waren spezielle Massnahmen erforderlich, um die Wasserdichtigkeit des Stauraums zu gewährleisten. In den Karstzonen wurden daher folgende Massnahmen vorgesehen: (i) Zementinjektionen, (ii) Verfüllen von grösseren Hohlräumen mit Beton und (iii) Umgehung grösserer Hohlräume durch Anpassung des Injektionschirms.

Die folgenden wichtigen Lehren konnten aus der Karstsanierung gezogen werden:

- (i) In einer karstigen Felssmasse wie auf der Ghir Baustelle kann die Bemessung und Ausdehnung der Injektionszonen nur während der Ausführung abschliessend definiert werden.
- (ii) Die Ausbildung des Injektionschirms muss ständig den geologischen Verhältnissen angepasst werden wie sie sich im Untergrund während der Ausführung präsentieren.
- (iii) Eine starke Karstbildung befindet sich meistens in der Nähe von Störzonen und Diskontinuitäten. Eine vertiefte Diskussion der bau-technischen Massnahmen in Karstzonen ist aber nicht Thema dieses Artikels; im Vordergrund stehen hier die Bemessungsaspekte der Betonmauer.

Erdbebenbemessung der Staumauer

Die Ghir Bogengewichtsmauer befindet sich im seismisch sehr aktiven

Two Francis turbines with an installed capacity of 16 MW will also be provided, but energy production is not the prime goal of this project. The objectives of the Ghir multi-purpose scheme are as follows (figure 1):

- Storage of irrigation water
- Storage of drinking water
- Power generation
- Flood control.

The design is based on hydrological and geological investigations and on cave explorations.

Special assistance is being provided for the preparation of studies and technical measures related to the earthquake and stability analyses of the dam and to the karst phenomenon at the dam site (foundation treatment and grout curtain design).

The client is the Ministry of Energy. The design is carried out by Electrowatt-Ekono Ltd. (Joint Venture Stucky-Electrowatt) together with Mahab Ghodss Consulting Engineers, Tehran, Iran.

The project started in 1992 and is expected to be completed before 2007.

Special technical aspects of the project

There are two main technical challenges of this project, i.e. karst and high seismicity.

Karst

Karst zones were found during the site investigation at the right abutment. During the course of the foundation excavation work and the construction of galleries and by exploration of the karst holes, it was found that the extent of karst was more severe than originally expected. Therefore, special measures were needed to ensure watertightness of the reservoir. However, the following basic concepts were used for the karst treatment: (i) grouting, (ii) plugging of larger cavities, and (iii) designing a bypass of caves by an appropriate arrangement of the grout curtain.



2

Ghir Bogengewichtsmauer in der Bauphase

(links: Ansicht flussabwärts; rechts: Ansicht flussaufwärts)

(Aufnahmen von T. Dolder, November 2005)

Ghir arch-gravity dam under construction

(left: downstream view; right: upstream view of dam)

(Photo courtesy T. Dolder, November 2005)

Zagrosgebirge im Südwesten des Iran. Im Jahre 1972 zerstörte ein heftiges Erdbeben der Magnitude 6.9 die Stadt Ghir; dabei starben mehrere tausend Menschen. Nach dem Erdbeben wurde die Stadt ca. 3 km von der alten Stelle entfernt wieder aufgebaut. Die Epizentral-distanz dieses Bebens zum Mauerstandort war ungefähr 22 km. Für die Erdbebenbemessung von Talsperren wurden wie nachfolgend beschrieben zwei verschiedene Bemessungserdbeben verwendet.

Bleibt die Frage, welcher Sperrentyp am besten geeignet ist um starken erdbebenbedingten Bodenbewegungen zu widerstehen

The following lessons learnt from the karst treatment are essential:

(i) In a karstified rock mass such as at the Ghir dam site, the final layout of a grout curtain can only be defined during the execution phase.

(ii) The grout curtain needs modifications and adaptations on the basis of the geological findings in the underground during the grouting process.

(iii) High karstification is generally localized around faults or discontinuities.

It should be pointed out that the detailed discussion of the karst treatment is not within the scope of this paper, which is mainly concerned with the design aspects of the dam.

und welche Form eine solche Sperre haben muss? Für die Erdbebensicherheit einer Talsperre spielt bekanntlich nicht nur die Erdbebengefährdung am Standort eine Rolle sondern vielmehr die optimale Wahl der Sperre. Die folgenden Empfehlungen sind zu befolgen, wenn eine erdbebensichere Staumauer projektiert wird:

- Optimierung der Mauerform mit dem Ziel eine möglichst symmetrische Form der Grundschwungung längs und quer zur Talachse zu erreichen.
- Vermeiden von Spannungskonzentrationen (abrupte Änderung der Steifigkeit, einspringende Ecken).
- Vertikale Blockfugen mit guter Verzahnung, speziell im Kronenbereich.
- Horizontale Betonierfugen mit guten Verbundeigenschaften.
- Breite Mauerkrone und Vergrößerung der Mauerstärke im Widerlagerbereich; dadurch können die grossen dynamischen Zugspannungen im Kronenbereich reduziert werden

Eine grosse Steifigkeit im Kronenbereich einer Bogenmauer ist erforderlich, einerseits um die statischen Durchbiegungen infolge Wasserlast zu reduzieren und andererseits um die Eigenfrequenzen der Grundschwingungen der Mauer zu erhöhen. Aus der Schalentheorie ist bekannt, dass eine starke Schale dann resultiert, wenn die Lasten durch Membranwirkung und nicht durch Biegung in die Fundation eingeleitet werden. Grosses Biegespannungen und die damit verbundenen Durchbiegungen treten am freien Rand einer Schale auf, z. B. entlang der Krone einer Bogenmauer. Die steife Ausbildung der Krone ist demzufolge das beste Mittel um die dynamischen Eigenschaften einer Bogenmauer zu verbessern. Im Falle des Ghir Projektes konnte eine weitere Verbesserung des Erdbebenverhaltens dadurch erzielt werden, dass die Hochwasserentlastung im zentralen Bereich der Mauerkrone derart angeordnet

Earthquake design of dam

The Ghir arch-gravity dam is located in the Zagros seismotectonic region in the southwest of Iran. This is an area of very high seismicity. In 1972, a powerful earthquake of magnitude 6.9 destroyed the town of Ghir which was rebuilt after the earthquake some 3 km away from the old site. The epicentral distance to the dam site was about 22 km.

For the seismic design of dams two seismic levels are used, i.e. (ICOLD 1989):

The question remains: which dam type is most suited to resist strong earthquakes and what is its shape? As mentioned earlier there are factors other than the local conditions which govern the earthquake safety of a concrete dam. The guiding principles that apply almost universally are:

- Optimize dam shape in order to achieve symmetry of mode shapes;

- Avoid stress concentrations (sudden changes in stiffness, recesses with corners);

- Provide contraction joints with adequate interlocking;

- Provide well-prepared lift surfaces to maximize bond and tensile strength.

- Increase the crest width and provide fillets near the abutments to reduce high dynamic tensile stresses in the crest region; etc.

High stiffness in the crest region (thick crest) of an arch dam is necessary to reduce the static deflections and at the same time it will increase the eigenfrequencies of the lowest modes of vibrations. It is well known from shell theory that a strong shell can be achieved when the applied loads are carried by membrane action and not in bending. Large bending stresses and corresponding deflections occur along the free boundary of a shell, i.e. along the crest in an arch dam.



wird, dass möglichst symmetrische Eigenschwingungsformen resultieren (Lotfi et al., 1996). Dabei spielt natürlich die Form des Talquerschnitts ebenfalls eine wichtige Rolle. Dieses rein qualitative Ziel konnte erreicht werden und die Grundvoraussetzung für ein gutes Erdbebenverhalten ist damit gegeben.

Für die Erdbebenbemessung von Talsperren, und der sicherheitsrelevanten Komponenten (Schützen der Hochwasserentlastung und des Grundablasses, etc.) werden die folgenden zwei Arten von Bemessungserdbeben verwendet (ICOLD, 1989):

- Operating Basis Earthquake (OBE) oder Betriebserdbeben: Der OBE Lastfall wird verwendet um die Erdbebenschäden zu begrenzen; das ist ein wichtiges Anliegen des Talsperrenbesitzers. Die Internationale Talsperrenkommission ICOLD (1989) hat für das OBE eine durchschnittliche Wiederkehrperiode von 145 Jahren vorgeschlagen. Die Ghir Mauer wurde für das OBE bemessen. Um den Nachweis zu erbringen, dass bei einer Staumauer keine Risse auftreten wird gefordert, dass die maxi-

malen dynamischen Zugspannungen infolge des OBE unter der dynamischen Zugfestigkeit des Massenbetons liegen.

- Maximum Credible Earthquake (MCE) oder Sicherheitserdbeben: Eine Talsperre muss der maximal möglichen Bodenbewegung am Sperrenstandort widerstehen können. Die Stabilität der Mauer muss nachgewiesen werden und ein unkontrollierter Wasserverlust aus dem Stausee gilt als nicht zulässig. Hingegen dürfen erhebliche strukturelle Schäden in Kauf genommen werden. Nach einem Starkbeben muss der Stausee abgesenkt werden können. Im Falle der Ghir Staumauer wurde für die Bodenbewegung des MCE ein Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von > 2000 Jahren zugrunde gelegt.

Basierend auf einer seismischen Gefährdungsanalyse wurden die folgenden Spitzenwerte der Bodenbeschleunigung ermittelt:

- horizontale Komponente:
0.26 g (OBE) und 0.52 g (MCE)
- vertikale Komponente:
0.17 g (OBE) und 0.40 g (MCE)

The stiffening of the crest is, therefore, the most efficient measure in changing the dynamic properties of a dam. In the case of Ghir a further improvement in the earthquake behaviour was achieved by placing the crest spillway in such a way that highly symmetrical mode shapes could be achieved (Lotfi et al., 1996).

For the seismic design of dams and safety-relevant components (spillway gates, bottom outlets, etc.) the following two types of design earthquake are used (ICOLD, 1989):

- *Operating Basis Earthquake (OBE): The OBE design is used to limit the earthquake damage to a dam project and, therefore, is mainly a concern of the dam owner. ICOLD (1989) has proposed an average return period of ca. 145 years for the OBE. Ghir dam has been designed for the OBE.*
- *Maximum Credible Earthquake (MCE): A dam must also be able to withstand the maximum credible ground motion at the dam site. The stability of the dam must be ensured and no uncontrolled release of water from the reservoir shall take place, although significant structural damage is accepted. In the case of significant earthquake damage, the reservoir may have to be*



4

Detail der Schubnocken in den vertikalen Blockfugen
(Aufnahme von T. Dolder, November 2004)

*Details of shear keys at vertical contraction joints
(Photo courtesy T. Dolder, November 2004)*

Alle obenerwähnten Erdbebenbemessungskonzepte wurden bei der Ghir Staumauer befolgt. Es wird deshalb ein günstiges Erdbebenverhalten erwartet. Die Staumauer sollte innerhalb eines Jahres fertiggestellt werden.

Bild 2 zeigt den Bauzustand der Ghir Bogengewichtsmauer Ende 2005 und **Bild 4** zeigt die Details der Schubverzahnung in den vertikalen Blockfugen.

Ausblick

Heutzutage ist die Erdbebeneinwirkung der massgebende Lastfall für die meisten grossen Talsperren. Für den Talsperreningenieur sind die Ermittlung und Beurteilung der seismischen Gefährdung sowie die Erdbebenbemessung einer Sperre zusammen mit den wichtigsten Nebenbauwerken zur Kernkompetenz geworden.. Dies trifft oft für die meisten Talsperrenprojekte im Ausland zu. Wir können sogar fast behaupten, dass wenn die Erdbebensicherheit einer Staumauer gewährleistet ist, die Mauer auch in Bezug auf andere äussere Belastungen und Einwirkungen sicher ist, vorausgesetzt dass die Fundation richtig behandelt wurde und der Damm das maximale Hochwasser problemlos ableiten kann.

Zurzeit sind wir an einigen der weltweit grössten Staumauerprojekten beteiligt. Erwähnt seien die 250 m hohe Deriner Bogenmauer in der Türkei (im Bau), die 315 m hohe Bakhtyari Bogenmauer in Iran (in Planung), die 288 m hohe Dibang Schwergewichtsmauer im Nordosten von Indien (in der Planungsphase), und die 175 m hohe Nam Theun 1 RCC Bogengewichtsmauer in Laos (in Planung).. Bei der Mehrzahl dieser geplanten Talsperrenprojekte handelt es sich um äusserst anspruchsvolle Objekte, das heisst schwierige Untergrundverhältnisse, hohe Seismizität, sehr grosse Hochwasserabflüsse. Zudem sind einige Objekte sehr abgelegen. Schweizer Ingenieure und Fachleute sind aktiv an der Realisierung und der Lösung von Spezialproblemen beteiligt.

lowered after the MCE. In the case of the Ghir dam, the MCE ground motion has been determined statistically using an event with a return period of 2000 years.

Based on a site-specific seismic hazard study, the peak values of the ground acceleration have been estimated as follows:

- *Horizontal component: 0.26 g (OBE) and 0.52 g (MCE)*
- *Vertical component: 0.17 g (OBE) and 0.40 g (MCE)*

The different seismic design concepts have been incorporated in the final design of the dam, which will be completed shortly.

figure 2 shows the dam under construction and figure 4 shows details of the shear keys provided along the vertical contraction joints between different blocks.

Outlook

Today, earthquake is the governing load case for most large dams. Therefore, for dam designers seismic hazard assessment and the seismic design of dams have become core competences for dam engineers. This is particularly true for most dam projects abroad. We may even say that when the seismic safety of a dam is satisfactory the dam is also safe for the other types of actions, provided the foundation is safe and that the dam can safely release the maximum flood water.

We are involved in a number of other large concrete dam projects such as the 250 m high Deriner arch dam in Turkey (under construction), the 315 m high Bakhtyari arch dam in Iran (in design stage), the 288 m high Dibang gravity dam in the Northeast of India (in design stage), the 175 m high Nam Theun 1 RCC arch-gravity dam in Laos (in design stage), etc. There are a number of very large dams in the pipeline, most of them at difficult sites, where Swiss consultants are participating actively in the project implementation and the solution of special problems.

Referenzen / References

- [1] ICOLD (1989): Selecting Seismic Parameters for Large Dams, Guidelines, Bulletin 72, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, ICOLD, Paris
- [2] Lotfi, V., Khoshrang, G., Malla, S. and Wieland, M. (1995). Seismic Analysis and Earthquake-Resistant Design of Arch-Gravity Dam. Proc. 2nd Int. Conf. on Seismology and Earthq. Engng. (SEE-2), Tehran, Iran, May 15-17, 1995.
- [3] Wieland, M. (2003). Seismic Aspects of Dams, General Report, Q.83 Seismic Aspects of Dams, 21st Int. Congress on Large Dams, ICOLD, Montreal, Canada, June 2003.
- [4] Wieland, M. (2005). Review of seismic design criteria of large concrete and embankment dams, Proc. Workshop on Seismic Aspects of Dams, Paper No. 012-W4, 73rd Annual Meeting of ICOLD, Tehran, May 1-6, 2005

Autor / Author

Dr. Martin Wieland
Electrowatt-Ekono Ltd.
(Jaakko Pöyry Group)
Hardturmstrasse 161,
Zurich, Switzerland
martin.wieland@ewe.ch