

# Geodätische Überwachung von Talsperren in Algerien

V. Bettzieche

In den Jahren 2004 und 2005 hatte der Verfasser die Gelegenheit, im Rahmen einer Beauftragung durch die algerische ANBT (Agence National des Barrages et Transférés) vier algerische Talsperren zu bereisen und deren Überwachungseinrichtungen zu besichtigen. Bei den vier Absperrbauwerken handelt es sich um einen Steinsetzdammbau, eine Beton-Gewichtsstaumauer und zwei Gewölbereihenbauwerke, die in ihrer Konstruktion aufwändig und architektonisch besonders interessant sind. Ziel der Begutachtung war die Bewertung des aktuellen Zustands der Absperrbauwerke sowie die Projektierung ggf. erforderlicher Sanierungsmaßnahmen. Bestandteil der Bewertung war die Betrachtung der aktuellen Bauwerksüberwachung sowie die Erarbeitung von Vorschlägen zur Anpassung der Messsysteme an deutsche Standards.

## 1 Talsperren in Algerien

Seit mehr als 100 Jahren werden in Algerien Talsperren gebaut. Insbesondere in der Zeit der französischen Kolonie (1830 – 1962) wurden Staudämme und Staumauern der verschiedensten Bauweisen errichtet, um die Wasserversorgung des Landes zu sichern. Unter Leitung französischer und schweizerischer Ingenieure wurden Bauweisen entwickelt und umgesetzt, die wegweisend für den Talsperrenbau des zwanzigsten Jahrhunderts waren. Eine Übersicht der damals noch neuartigen Bauweisen gibt HARTUNG 1956 in [1]. Nach rund 60 Jahren Betriebszeit haben sich an den Talsperren die zu erwartenden Alterungseffekte eingestellt, so dass die algerische Regierung, vertreten durch die ANBT, die Überprüfung der Anlagen veranlasste.

Das Konsortium aus der Fichtner GmbH, Stuttgart, der Ruhr-Wasserwirtschafts-Gesellschaft mbH, Essen und der Hamza Associates, Kairo erhielt den Auftrag, vier dieser Talsperren zu untersuchen. Es sind die komplexen Gewölbereihen-Staumauern von Beni Bahdel und Meffrouch sowie der Steinsetzdammbau von Bou Hanifia und die Staumauer von Djorf Torba.

### 1.1 Beni Bahdel

Die 55 m hohe Hauptstaumauer (s. Abb. 2) der Talsperre Beni Bahdel ist die höchste von drei Gewölbereihenbauwerken, die ein Volumen von 73 Mio. m<sup>3</sup> einstauen. Diese Bauweise wurde u.a. gewählt, um Problemen im Untergrund durch individuelle Ausführungen der Pfeilerfunda-

mente begegnen zu können. Die Gewölbe sind etwa 1:1 geneigt. Ihre Wandstärke steigt von 0,62 m an der Krone auf 1,50 m an der Mauersohle. Sie ruhen mit einer Spannweite von 20 m auf Pfeilern mit einer Kronenbreite von 4 m und einer Breite von mehr als 30 m an der Basis. Während des Baus, der von 1934 bis 1941 dauerte, entschloss man sich, die Mauer von 47 m auf 55 m zu erhöhen, was wesentliche Verstärkungen der ursprünglichen Konstruktion erforderte.

### 1.2 Bou Hanifia

Der Staudamm der 72 Mio. m<sup>3</sup> fassenden Talsperre Bou Hanifia wurde als Trockenmauerwerk ausgeführt. Hierbei wurden Steine und Blöcke von bis zu 10 t von Hand oder mit einem Kran gesetzt und die Zwischenräume sorgfältig mit kleinerem Material aufgefüllt. Eine Vermörtelung erfolgte nicht. Diese Bauweise zwischen Damm und Mauer erlaubt steile Böschungen von etwa 1:1. Der 54 m hohe und 464 m lange Damm wird durch eine Asphaltbetonoberflächendichtung gedichtet, die mittels Stahlbetonplatten geschützt wird.

Probleme im Untergrund verzögerten den 1930 begonnenen Bau bis zum Einstau 1940. Hohe Durchlässigkeiten des Mergels erforderten den Bau einer wasserseitigen Untergrundabdichtung, die mit 4 m Breite stellenweise bis zu 70 m in den Untergrund reicht.

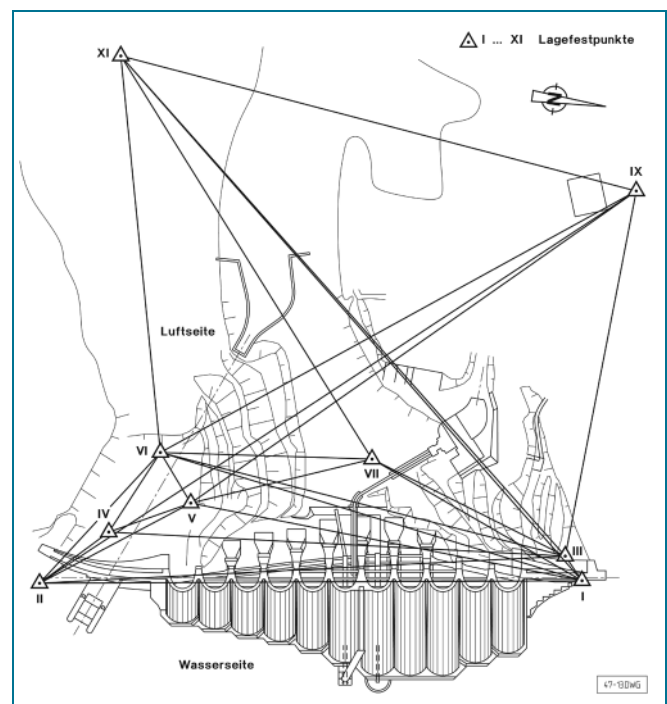


Abb. 1: Lagefestpunkte und geodätisches Netz der Hauptstaumauer Beni Bahdel



Abb. 2: Blick vom Beobachtungspfeiler 4 auf die Staumauer Beni Bahdel

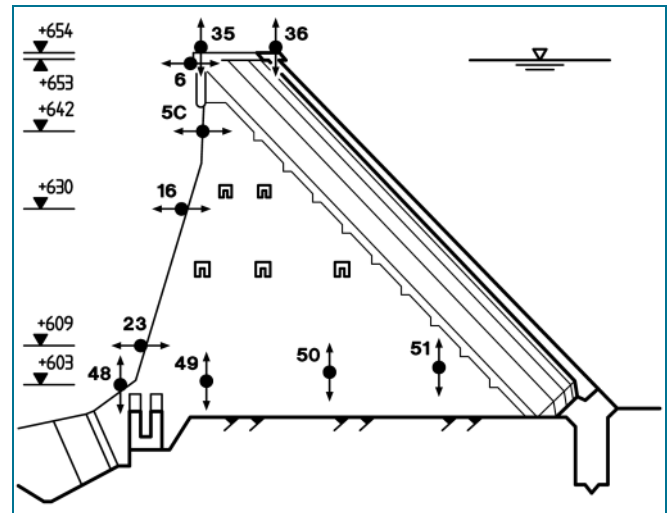


Abb. 3: Objektpunkte an einem Pfeiler der Staumauer Beni Bahdel

## 2 Messsysteme zur geodätischen Überwachung

Planung und Bau der Talsperren von Bou Hanifia und Beni Bahdel erfolgte unter der Federführung europäischer Ingenieure. Beni Bahdel wurde wesentlich durch Alfred Stucky, Lausanne geplant, Bou Hanifia durch Soletanche, Paris entworfen. Neben der Bauwerksplanung wurden für beide Sperren Mess- und Kontrollsysteme entworfen. Aufgabe der Einrichtungen war sowohl die Überwachung der Anlagen im Probestau als auch im weiteren Betrieb. Zur Überwachung von baulichen Besonderheiten wurden spezifische Messsysteme entwickelt.

### 2.1 Die geodätische Überwachung der Staumauer von Beni Bahdel

Die geodätische Überwachung der Talsperren soll am Beispiel der Hauptstaumauer (Barrage Principal) von Beni Bahdel vorgestellt werden. Zur Lageüberwachung wird ein trigonometrisches Netz verwendet, die Setzungsmessung erfolgt mittels eines geometrischen Präzisionsnivelements.

Das aktuelle trigonometrische Messsystem entspricht den Vorgaben der deutschen Regelwerke. Es besitzt mehrere Beobachtungspfeiler. Drei Pfeiler sind in direkter Nähe der beiden Mauerflügel angeordnet, vier Pfeiler befinden sich in unmittelbarer Nähe des Absperrbauwerks, zwei weitere Pfeiler sind in der weiteren Umgebung errichtet. Auch die Konstruktionsweise der Messpfeiler entspricht deutschen Vorstellungen. Die Pfeiler bestehen aus einem Kernpfeiler aus Beton. Ein konzentrisches Rohr bildet den Außenpfeiler, der Zwischenraum ist mit Glaswolle ausgestattet und schützt den Innenpfeiler gegen Außeneinflüsse. Die Zentrierplatten sind aus Bronze und im Kernpfeiler verankert. Ein abnehmbarer Deckel schützt den Pfeilerkopf. Nicht an allen algerischen Talsperren sind die Pfeiler im ursprünglichen Zustand erhalten. Zum Teil sind die Außenschalen beschädigt, an isoliert liegenden Talsperren werden die Bronzeplatten häufig gestohlen.

An der Staumauer dienen verschiedene Zielmarken und Messpunkte der Überwachung der Verformungen in den wichtigsten Horizonten. Abb.3 stellt exemplarisch die Objektpunkte an einem der Pfeiler dar. Zur Überwachung der horizontalen Verschiebungen sind vier Zielmarken in verschiedenen Höhen von der Krone bis zur Sohlhöhe installiert. Die vertikalen Verschiebungen werden mit Hilfe von zwei Punkten (35, 36) auf der Krone und vier Punkten (48 – 51) nahe der Gründung überwacht. Mit Hilfe dieser Messpunkte lässt sich eine Verkippung der Pfeiler auch aus dem Nivellement ableiten.

Die vorliegenden Messreihen beziehen sich auf die Nullmessung vom März 1952. Folgemessungen wurden in den Jahren 1986, 1987 und 1988 je zweimal jährlich und je einmal in 1995 und 1998 durchgeführt.

Diese Messreihen mit 8 Messungen sind exemplarisch für viele Messungen an den algerischen Talsperren. Messdaten aus der Zeit des Ersteinbaus und der ersten Betriebsjahre sind häufig nicht mehr verfügbar. In den Folgejahren wurden zeitweise verdichtete Messkampagnen durchgeführt, denen Zeiträume folgten, in denen die Messungen ausblieben. Problematisch zeigt sich zudem der Umstand, dass die Messungen von wechselndem Personal durchgeführt wurden. An der Talsperre Beni Bahdel wurden die Messungen der 80er



Abb. 4: Blick auf die Messeinrichtungen an den Pfeilern der Staumauer Beni Bahdel

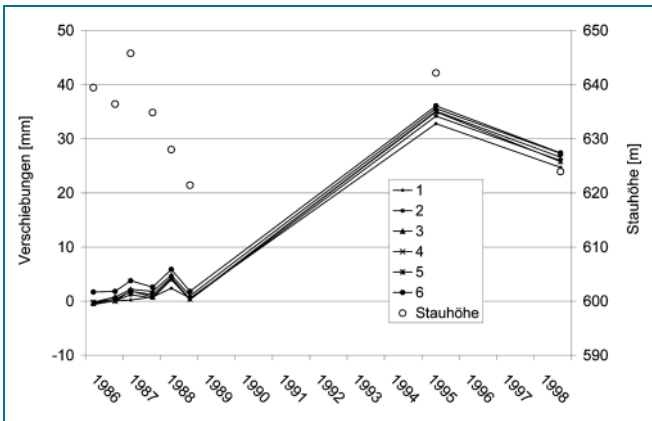


Abb. 5: Ergebnisse der Verschiebungsmessungen an der Staumauerkrone (+: luftseitig/–: wasserseitig)

Jahre beispielsweise von einem jugoslawischen Ingenieurbüro durchgeführt, ab 1995 waren algerische Vermessertätig. Abb. 5 zeigt die horizontalen Verschiebungen der Krone einiger Pfeiler sowie die Stauhöhe zum jeweiligen Beobachtungszeitpunkt. Allenfalls die kurze Messreihe der sechs Messungen zwischen 1986 und 1988 könnte als Grundlage für eine Analyse dienen. Der Vergleich der Verschiebungen mit der Stauhöhe ergäbe eine luftseitige Verschiebung für sinkende Stauhöhen. Dies erscheint jedoch unwahrscheinlich zu sein. Vielmehr ist anzunehmen, dass sich die beobachteten Bewegungen aus temperaturbedingten Dehnungen der schlanken Bauwerkspfeiler ergeben. Leider liegen an der Staumauer keine Temperaturaufzeichnungen vor.

Der „Sprung“ der Messreihen zwischen 1988 und 1995 um 30 mm ist nicht zu erklären. Sollte es sich hier nicht um Messfehler handeln, wären Schadensbilder an der Staumauer zu erwarten. Die Besichtigung der Sperre zeigte jedoch keine Auffälligkeiten. Da der „Sprung“ zudem an allen Messpunkten, sowie an allen Pfeilern auftritt, ist wohl von Messfehlern auszugehen. Dies wiederum belegt, dass die Messreihen kaum zu interpretieren sind. Eine Beurteilung der Sicherheit der Staumauer auf Basis der Messdaten der trigonometrischen Überwachung ist nicht möglich.

## 2.2 Besondere Messeinrichtungen am Staudamm Bou Hanifia

Auch der Staudamm von Bou Hanifia verfügt über ein System zur geodätischen Überwachung. Die Messdaten liegen hier zumindest für den Zeitraum von 1986 bis 1996 mit 11 auswertbaren Messungen vor. Augenmerk soll hier jedoch auf eine besondere Verformungsmessung gelegt werden. Während an den meisten Absperrbauwerken die Untergrundabdichtung unterhalb der Gründung des Bauwerks angeordnet wird, ist in Bou Hanifia die Abdichtung im Stauraum vor dem wasserseitigen Dammfuß angelegt worden. Einer der Gründe hierfür mag die Möglichkeit gewesen sein, Damm und Abdichtung zeitgleich zu errichten und erst anschließend zu verbinden. Diese Verbindung stellt allerdings einen möglichen Schwachpunkt der Konstruktion dar, wenn an dieser Stelle zu große Bewegungsdifferenzen zwischen Dammfuß und Untergrundabdichtung auftreten.

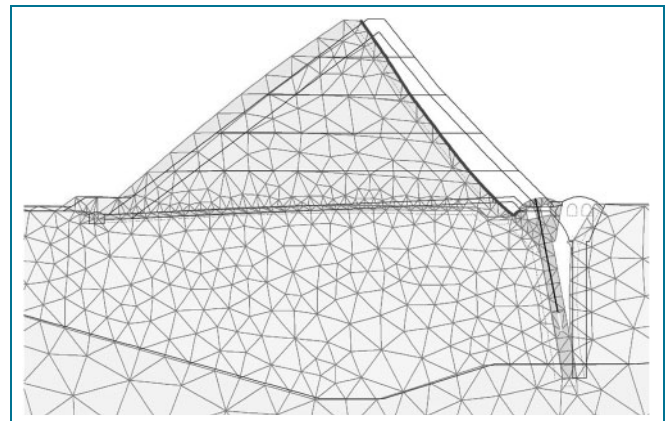


Abb. 6: Bewegung des Damms Bou Hanifia und der Untergrundabdichtung gemäß Standsicherheitsuntersuchung

Im Rahmen der Überprüfung der Talsperre war der Nachweis der Standsicherheit des Damms zu führen. Da zunächst keine verlässlichen Angaben zu Dammmaterial und Felsuntergrund vorlagen, konnte das verwendete Finite-Element-Modell nur mit Kennwerten aus der Literatur erstellt werden [3]. Die Verformungsanalyse ergab, dass nur geringe Bewegungsdifferenzen zwischen Dammfuß und Untergrundabdichtung zu erwarten waren, da sich beide beim Einstau im gleichen Maß in Richtung Unterwasser bewegen (s. Abb. 6). Die dichtende Verbindung zwischen Dammfuß und Untergrundabdichtung bildet eine Asphaltbetondecke, die auf einem Überbrückungselement („Clavette“, dt. Keil, s. Abb. 7) ruht. Diese Clavette gleitet mit der einen Seite auf dem Dammfuß, mit der anderen auf der Untergrundabdichtung und stützt so die darüber liegende Asphaltbetondecke. Unter der Clavette befindet sich ein Hohlraum, der sich je nach Bewegungsdifferenz öffnet oder schließt. Diese Bewegungsdifferenz wird mittels eines Rohres und einer hierin verlauf-

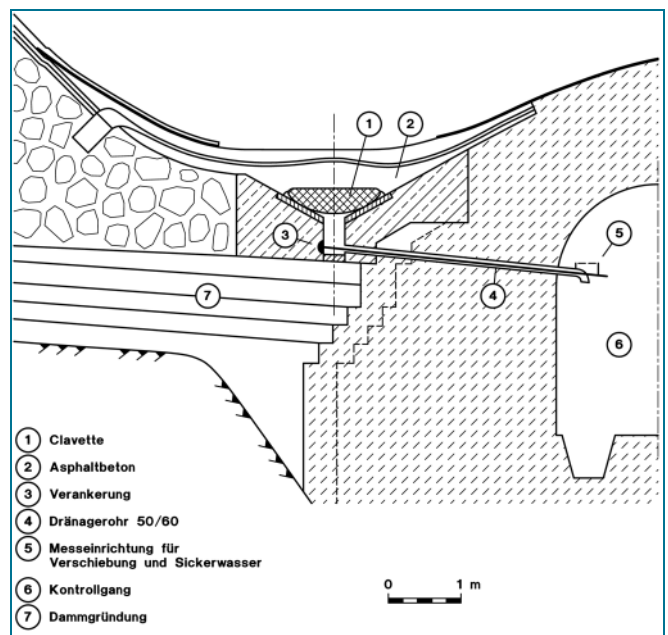


Abb. 7: Konstruktive Ausbildung des Übergangs der Dichtung vom Dammfuß zur Untergrundabdichtung am Staudamm Bou Hanifia (Bild noch zu übersetzen)



fenden Schubstange in den Kontrollstollen der Untergrundabdichtung übertragen und kann hier mit Hilfe zweier Zapfen (s. Abb. 8) gemessen werden. Zusätzlich dient das Rohr zur Ableitung und somit der Kontrolle möglicher Sickerwassermengen aus dem Übergangsbereich. Auf diese Weise kann dieser sensible Bereich mit einfachen Mitteln überwacht werden.

Die Messreihen der Differenzmessung liegen an 45 Messstellen von 1944 bis 1965 in einer kontinuierlichen Messreihe vor. Die Differenzen erreichen in Dammmitte die Größenordnung von 30 mm als Vergrößerung des Abstands zwischen Dammfuß und Abdichtung. Sie waren jedoch etwa 1950 im Wesentlichen zum Stillstand gekommen, so dass die Messungen 1965 eingestellt werden konnten. Erhöhte Sickerwassermengen wurden nicht registriert, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Asphaltbetondeckung die Bewegung ausgleichen konnte.

Die Vergrößerung des Abstands kann entweder so interpretiert werden, dass sich der Dammfuß durch Kompression der Dammmaterialien beim Einstau entsprechend weiter zur Luftseite bewegt hat als die Untergrundabdichtung oder dass der Untergrund wesentlich steifer ist, als anhand der angenommenen Kennwerte berechnet. Hier müssen geologische Untersuchungen zur weiteren Klärung der Beobachtungen und Ermittlung der realen Kennwerte durchgeführt werden.

### 3 Vorschläge zur Erweiterung der Messsysteme

Neben der Begutachtung der Messeinrichtungen und, soweit möglich, Auswertung der Messreihen waren Empfehlungen zur Anpassung der Messprogramme an deutsche Standards zu erarbeiten. Grundlage hierzu war das DVWK-Merkblatt 222 [2], wobei zudem Erkenntnisse aus der Erstellung des neuen DWA-Merkblattes „Bauwerksüberwachung an Talsperren“ hinzugezogen wurden. Grundsätzlich existieren an den untersuchten algerischen Talsperren ausreichende Messeinrichtungen. Beschädigungen, die an einigen Stellen vorliegen, können behoben werden.

Es zeigte sich jedoch, dass insbesondere die Messreihen der geodätischen Überwachung nicht den erforderlichen Ansprüchen genügen. Wechselndes Messpersonal ist in Deutschland als eine der häufigsten Begleitumstände bei Fehlern in langjährigen Messreihen bekannt. Wesentliche



Abb. 8: Messeinrichtung im Kontrollgang der Untergrundabdichtung von Bou Hanifia

Empfehlung war daher, die geodätischen Messungen regelmäßig und je nach Bauweise ein- bzw. zweimal jährlich durchzuführen. Zur Erlangung einer soliden Datengrundlage wäre eine 1/4-jährliche Messung in den nächsten fünf Jahren wünschenswert. Nur mit einer solchen Datengrundlage wird die geodätische Überwachung wieder ihrer Aufgabe der sicherheitlichen Überwachung der Absperrbauwerke gerecht.

### Literatur

- [1] HARTUNG, F.; Eindrücke vom Talsperrenbau in Algerien; Der Bauingenieur; 31. Jahrg.; 1956; Heft 7, S. 245–257
- [2] Mess- und Kontrolleinrichtungen zur Überprüfung der Standsicherheit von Staumauern und Staudämmen; DVWK-Merkblatt 222, Bonn; 1992
- [3] KÖNKE, C., ROESLER, F.: Standsicherheitsnachweise an vier algerischen Talsperren; 14. Talsperrens Symposium, Proceedings, Freising, September 2007

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. VOLKER BETTZIECHE,

Leiter der Abteilung Talsperrenüberwachung und Geotechnik, Ruhrverband, Kronprinzenstraße 37, 45128 Essen, Tel.: 02 01/1 78-26 90,

Fax: 02 01/1 78-26 05,

e-mail: [mailto:vbe@ruhrverband.de](mailto:mailto:vbe@ruhrverband.de),

web: <http://www.ruhrverband.de>

**In the years 2004 and 2005 the author had the opportunity to visit four Algerian reservoirs. The construction of the four dams were one embankment dam, one concrete gravity dam and two multiple arch dams with an architecturally particularly interesting construction. A goal of the investigation was the evaluation of the current situation of dams as well as the planning of rehabilitation measures. Components of the evaluation were on the one hand the analysis of the existing monitoring system, on the other hand the development from suggestions to the adjustment of the monitoring systems to German standards.**

**En 2004 et 2005 l'auteur devait visiter des équipements d'auscultation à quatre barrages algériens. En ce qui concerne les quatre barrages, il s'agit d'une digue en enrochements de blocs armés, d'un barrage-poids en béton et deux barrages à voûtes multiples qui ont construit coûteusement et qui sont architectonique particulièrement intéressante. L'objectif de l'expertise était l'évaluation de la situation actuelle des barrages ainsi que la projection des assainissements si nécessaires. Des éléments de l'évaluation étaient d'une part l'analyse des méthodes de mesure existantes, d'autre part l'élaboration des propositions d'adaptations des systèmes de mesure à des normes allemandes.**