

Planung und Bau der Wehr- und Wasserkraftanlage Naga Hammadi am Nil in Ägypten

Planning and Construction of the New Naga Hammadi Barrage and Hydropower Plant

Bernd R. Hein

Abstract

In the year 1992 an international consortium of consulting firms was entrusted by the Ministry of Water and Irrigation of the Arab Republic of Egypt to perform the „Feasibility Study Naga Hammadi Barrage“. This study had to investigate possibilities for rehabilitation or new construction of the Naga Hammadi Barrage and shiplock which had been constructed in the thirties of the last century. In 1995 after careful investigations, a new construction was recommended including a hydropower component. Planning and tender documents were carried out in the following years. In 2002 construction commenced by a French, German and Egyptian consortium. In November 2006 impounding of the structures was done. Completion date for the Project is end of May 2008.

Zusammenfassung

Im Jahre 1992 wurde ein internationales Beraterkonsortium mit der Machbarkeitsstudie „Naga Hammadi Barrage“ durch das Ministerium für Wasser und Bewässerung der Regierung von Ägypten beauftragt. Diese Studie sollte klären, ob ein in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts gebautes Nilwehr mit Schleuse rehabilitiert oder neu gebaut werden soll. Es wurde im Jahr 1995 nach gründlichen Untersuchungen ein Neubau mit Wasserkraftkomponente empfohlen und dessen Planung und Ausschreibung in den folgenden Jahren in Angriff genommen. Im Jahre 2002 wurde der Bau durch ein französisch-deutsch-ägyptisches Konsortium begonnen. Im November 2006 wurde der Einstau der Anlage begonnen, die Anfang 2008 komplett fertig gestellt werden soll.

1 Projekthintergrund

Das bestehende Naga Hammadi Nilwehr liegt etwa 360 km unterstrom des Assuan Dammes und 135 km nördlich von Luxor in Oberägypten. Es wurde in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts gebaut und in Betrieb genommen. Es ist Teil eines Bewässerungssystems, das aus den Wehren in Esna (193 km oberstrom) und Assiut (185 km unterstrom) besteht. Die Wehre stauen den Nil und speisen an allen 3 Sperrenstellen auf beiden Nilseiten Einlauf- und Regulierungsbauwerke und jeweils 100 - 200 km lange Hauptbewässerungskanäle, die wiederum ein ganzes System von untergeordneten Kanälen versorgen. Die Anbaufläche entlang des oberen und mittleren Nils wurde damals um 1/3 erweitert und das System ist bis heute von höchster Bedeutung für Ägypten. Die alten Wehre selbst bestehen aus Beton und Bruchsteinmauerwerk und Gewölbeöffnungen mit Doppeltafelschützen zur Regulierung. Eine

Schleuse für den Schiffverkehr ist jedem Wehr zugeordnet. Das alte Naga Hammadi Wehr hat 100 je 8 m breite Öffnungen und ist ca. 1 km lang. Anzumerken ist, dass die Kapazität dieser Wehre auf die früheren Nilhochwasser ausgelegt ist, die seit Bau des Assuanhochdammes nicht mehr auftreten. Die Wehre besitzen zur Verlängerung des Sickerweges kurze Spundwände in der Gründung.

2 Projektveranlassung und Geschichte

Alle drei Wehranlagen sind nach heutigen Standards technisch veraltet. Dies gilt vor allem für die Doppeltafelschützen, die von Portalkranen mit Ketten bewegt werden müssen und die sehr undicht sind. Auch die Bausubstanz zeigt Alterserscheinungen, wobei insbesondere Erosionserscheinungen in der Gründung auftreten und der unterstromige Sohlschutz beschädigt ist. Dies hat beim Naga Hammadi Wehr dazu geführt, dass ein Vollstau nicht mehr möglich ist. Es war somit klar, dass alle drei Wehre mittelfristig zu rehabilitieren oder neu zu bauen waren. Das wurde für das Esna Wehr in den Jahren 1988-1994 mit einem Neubau begonnen und danach wurde Naga Hammadi in Angriff genommen. Inzwischen sind auch für das Assiut Wehr Planungen auf dem Niveau einer Machbarkeitsstudie abgeschlossen worden. Die Machbarkeitsstudie für das Naga Hammadi Wehr wurde 1991 mit Finanzhilfe durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau ausgeschrieben und ein Konsortium bestehend aus Lahmeyer International (Deutschland, Federführer), Elektrowatt (Schweiz) und Sogreah (Frankreich) erhielt 1992 den Auftrag. Im November 1992 begannen die Untersuchungs- und Planungsarbeiten mit dem Ziel, zunächst die Frage zu klären, ob man die Anlage rehabilitieren oder neu bauen sollte. Diese Phase war 1995 abgeschlossen und hatte das Ergebnis, dass ein Neubau die bessere Lösung ist. Dieser Neubau wurde mit einer integrierten Wasserkraftanlage vorgeschlagen. In der nächsten Phase wurde von 1995 bis 1996 ein umfangreiches Bohrprogramm durchgeführt, das sich weit nach unterstrom ausdehnte, um eine geeignete Sperrstelle lokalisieren zu können und anschließend wurde die Entwurfsplanung beendet. Im Jahre 1998 schließlich erhielt das gleiche Konsortium den Anschlussauftrag für die Ausschreibungsplanung, Ausschreibungsunterlagen und Bauleitung der Anlage. Diese Dokumente lagen 2000 vor und man konnte die Arbeiten unterteilt in vier Lose ausschreiben. Die Lose mit den Auftragnehmern sind wie folgt:

Los 1 – Bauarbeiten: Arge Vinci/ Bilfinger Berger/ Orascom

Los 2 – Stahlwasserbau und Kräne: DSD Dillinger Stahlbau GmbH

Los 3 – Turbinen/ Generatoren: VA Tech Escher Wyss GmbH

Los 4 – Elektrische Ausrüstung: VA Tech Hydro GmbH

Im Jahre 2002 wurde der Bauauftrag vergeben und am 02. Juni 2002 war Baubeginn.

3 Projektentwurf und Hauptdaten

Das neue Wehr wurde aus hydraulischen Gründen und insbesondere wegen der Gründungsverhältnisse ca. 3500 m nach unterstrom vom alten Wehr gelegt. (**Bild 2**). Dabei spielte eine 40 - 60 m unter der Geländeoberkante liegende Schluff-Tonschicht die entscheidende Rolle, die an der gewählten Stelle durchgehend ohne Fehlstellen erwartet wurde. Der Entwurf der Anlage besteht aus drei Hauptteilen:

- Wasserkraftwerk mit 4 Rohrturbinen und einer Gesamtleistung von 64 MW, was zur Versorgung von ca. 200.000 ägyptischen Familien ausreicht. Der Fallhöhenbereich beträgt 7,97 m bis 2,40 m und das Betonvolumen des Kraftwerkes beträgt 124.000m³.
- Stauwehr mit 7 Öffnungen von 17,0 m Breite und ca. 16 m Höhe ausgerüstet mit Kreissegmentschützen zur Abfuhr des Bemessungshochwassers von 7000 m³/ sec. Das Betonvolumen beträgt 87.000 m³.
- Schleuse mit 2 Kammern von 170 m Länge und 17 m Breite, die die größte Schiffskategorie der Nilkreuzfahrtschiffe aufnehmen können. Die Schleuse hat 3 Stemmtore und ein Sektortor. Das Betonvolumen beträgt 164.000 m³.

Die Bilder 1 und 2 zeigen den Lageplan der Bauwerke und den Querschnitt des Kraftwerks. Zu den ausgeführten Arbeiten zählen auch die folgenden Projektteile, die nicht unmittelbar aus den Bildern ersichtlich sind:

- Rehabilitierung der bestehenden Hauptkanaleinlaufbauwerke in baulicher und mechanischer Hinsicht;
- Befestigung der Uferstreifen zwischen altem und neuem Wehr;
- Verfüllung eines alten Nilarmes mit Überschussaushubmassen und Herrichtung als Landwirtschaftsflächen;
- Neubau von Bauernhäusern für ausgesiedelte Familien;
- Bau von Drainagen für anliegende Dörfer mit Pumpstationen;
- Strasse über die Bauwerke;
- Schiffsanlege- und Leiteinrichtungen;
- Hochspannungsleitungen vom Kraftwerk zur nächstgelegenen Substation;
- Freiluftschaltanlage;
- Verwaltungs- und Werkstattgebäude.

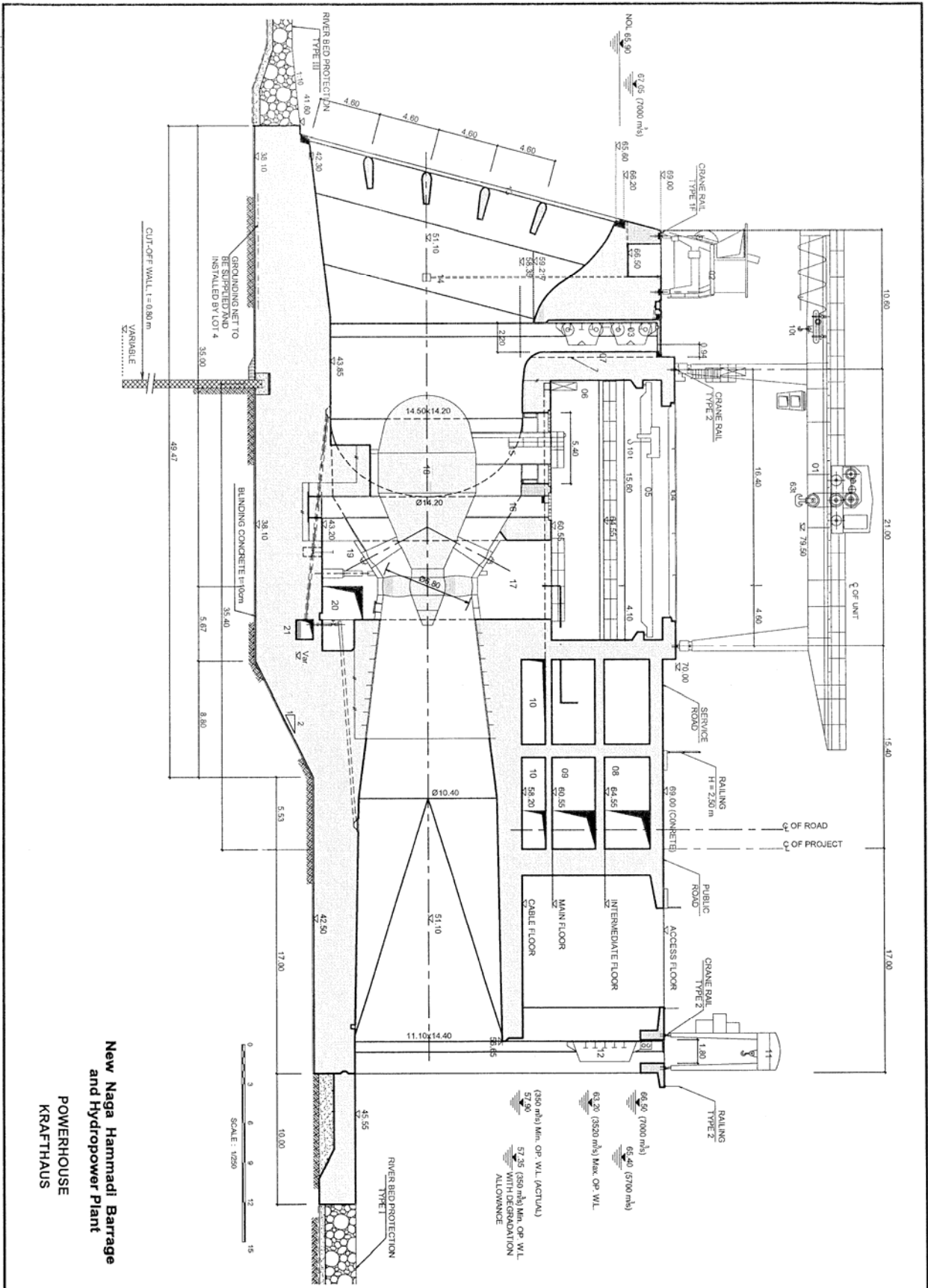


Bild 2: Querschnitt durch das Kraftwerk

4 Bauablauf

Die Bauwerke liegen direkt im existierenden Nilbett. Aus dieser Situation folgen zwingend die erforderlichen Bauschritte wie unten beschrieben:

1. Bau eines Umleitungskanals zur Abführung des Bemessungshochwassers von 2900 m³/s und Aufnahme des Schiffsverkehrs;
2. Bau von einem oberstromigen und unterstromigen Kofferdam im Flusslauf;
3. Bau von einer temporären Schlitzwand um die gesamte Baugrube zur Abdichtung;
4. Aushub der Baugrube und Ausführung der permanenten Erosionsschutz-Schlitzwand unter den Bauwerken;
5. Ausführung der Betonbauwerke und Erosionsschutzschichten für Böschungen und Sohle innerhalb der Baugrube;
6. Überlappend mit Schritt 5 Installierung der Stahlwasserbauelemente wie Zylinderschützen usw.;
7. Teilweise überlappend mit Schritt 5 Installierung der Turbinen und Generatorenausrüstung und später der elektrischen Ausrüstung;
8. Einstau der Anlage;
9. Abräumen der Kofferdämme und Rückumleitung des Schiffsverkehrs durch die Schleuse Nr. 1, sowie des Nils durch das Wehr;
10. Gleichzeitig mit Schritt 9 Vervollständigung des Erosionsschutzes unter- sowie oberwasser der Kofferdämme;
11. Verfüllung des Umleitungskanals und Ausführung des Rests der permanenten Schlitzwand im Umleitungskanal;
12. Hochfahren des oberwasserseitigen Reservoirs und Inbetriebnahme des Kraftwerks und der Schleuse Nr. 2.

Die oben genannten Schritte sollen in exakt 6 Jahren ausgeführt werden. Im Moment befindet sich die Baustelle im 6. Baujahr in der Ausführung des Schrittes 11. Gleichzeitig werden im Kraftwerk im Schutz von Dammtafeln alle 4 Einheiten montiert und sind nahezu fertig gestellt. Schritt 12 ist für September diesen Jahres geplant, gefolgt von der Inbetriebnahme der Einheiten. Im Moment erscheint der planmäßige Abschluss der Arbeiten im Mai 2008 realistisch. Es werden nun einige der Bauarbeiten mehr im Detail geschildert und kommentiert in Bezug auf die aufgetretenen Schwierigkeiten.

5 Flussumleitung und Baugrube

Die Flussumleitung des Nils wurde durch einen Umleitungskanal von 1.800 m Länge auf der linken Uferseite hergestellt. Der Querschnitt ist trapezförmig mit einer Basisbreite von 125 m und 1:3 Böschungen, die später im unteren Bereich auf 1:5 abgeflacht wurden. Sohle und Böschungen sind mit Erosionsschutz versehen, wobei die Sohle einen weit gestuften Steinwurf von 70 cm Dicke bekam, während die Böschungen insgesamt zuerst mit Filtervlies abgedeckt wurden und dann einen 2-stufigen Steinwurf erhielten, d.h. Grobkies in 30 cm Stärke zuerst und

dann 60 cm Steinwurf. Die Sohle des Kanals lag auf Kote 52 m, das Urgelände liegt auf etwa Kote 67 m, d.h. der Kanal schneidet etwa 15 m ins Gelände ein. Das Aushubvolumen des Kanals betrug 3,5 Mio. m³. Der Kanal war 3 Jahre in Betrieb und zeigte keinerlei Schäden bis zur Verfüllung. Die Herstellung in Trockenaushub und Nassbaggerung dauerte mit Böschungsschutz etwa 18 Monate. Einige lokale Böschungsrutsche traten auf, deren Ursache nicht eindeutig geklärt ist. Die überwiegend anstehenden schluffigen Feinsande haben kaum Kohäsion und neigen zu Verflüssigungen. Diese Eigenschaft, der zur Zeit der Arbeiten hohe Grundwasserstand und die sehr schweren, eingesetzten Saugbagger dürften zusammen genommen der Grund gewesen sein. Die Unterwasser liegenden Böschungsteile wurden daraufhin auf 1:5 abgeflacht. Die Einbusse im Querschnitt war gering und konnte akzeptiert werden. Die Flussschließung wurde von Oktober bis Dezember 2003 durchgeführt und bereitete keine Schwierigkeiten, da der Nil in dieser Zeit seine niedrigste Wasserführung hat. Als Material für die Kofferdämme wurde ein aus einem nahe gelegenen Wadi entnommenes, weit gestuftes Sand-Kiesgemisch eingesetzt. Für den Bereich der Schlitzwand wurde das Überkorn ausgesiebt, da die Schlitzwandfräse nur begrenzte Korndurchmesser abpumpen kann. Ab dem 28. Dezember 2003 bis Mai 2007 floss dann der Nil durch den Umleitungskanal.

Überlappend mit Umleitungskanalherstellung und Kofferdammherstellung begann schon die Ausführung der temporären Schlitzwand auf den zugänglichen Teilen des linken und rechten Ufers. Die Länge dieser Schlitzwand betrug etwa 1.800 m mit einer Tiefe zwischen 40 und 60 m und einer Gesamtfläche von 92.500 m². Die Dicke beträgt 80 cm. Es wurde ein plastischer Beton verwendet, d.h. der Mischung wurde Bentonit zugesetzt. Die Schlitzwand schneidet etwa 1,5 m in die zuvor erwähnte Schluff-Tonschicht ein. Der Übergang von Sand zu dieser Schicht war zu jeder Zeit am Entsander eindeutig lokalisierbar. Das Fräsen der Schlitzwand in den natürlich anstehenden Sanden und Kiesen des Niltales bereitete keinerlei Schwierigkeiten. Etwas schwieriger wurde das Fräsen im Kofferdammmaterial. Hier kam es stellenweise zu Bentonitverlusten in gröberen, entmischten Bereichen und im Extremfall wurde Magerbeton verfüllt, um diese Bereiche abzudichten und dann wurde ein zweites Mal gefräst. In Juni 2004 war diese Operation abgeschlossen und ab Juli wurde das offene Wasser abgepumpt und gleichzeitig aus ca. 42 Brunnen, die in der Zwischenzeit abgeteuft waren, Grundwasser gepumpt.

Gleichzeitig wurde schon mit dem Aushub der Baugrube über dem Grundwasserspiegel begonnen. Dieser Aushub und das Fräsen der permanenten Schlitzwand unter den Bauwerken waren die Hauptaktivitäten der 2. Hälfte des Jahres 2004. Der Aushub wurde zuerst vorrangig im Bereich dieser Schlitzwand vorangetrieben, um diese Aktivität zu beschleunigen. Zudem wurde die Arbeitsplattform trotz verschiedener Gründungskoten auf eine Höhe gelegt, was zwar zusätzlichen Fräsaufwand bedeutete, aber insgesamt der Baustelle Zeit sparte. Das Aushubvolumen betrug 1,85 Mio. m³.

Während des Erdaushubs kam es zu einem Zwischenfall, der Erwähnung verdient. Dabei entstand bei Aushub auf ca. Kote 60 m plötzlich eine heftig sprudelnde Quelle beim Abbaggern einer Berme. Es war bald klar, dass hier ein Bohrloch vom 10 Jahre zurückliegenden Bohrprogramm durchgebrochen war, dass durch die Schluff-Tonschicht durchgeteuft worden war und das mangelhaft verfüllt wurde. Der Bereich wurde rückverfüllt um Zeit zu gewinnen und später wurde das Bohrloch durch eine schwierige Operation abgedichtet. Dieser Vorfall auf

Kote 60 m, also 7 m unter Urgelände, wiederholte sich glücklicherweise nicht im tiefen Teil der Baugrube, der bis Kote 36 m im Krafthausbereich herunterreichte, also 31 m unter Urgelände. Eine Abdichtung in einem derartigen Fall wäre vermutlich kaum möglich gewesen ohne gravierende bauverzögernde Maßnahmen.

Abschließend zur Baugrube ist zu bemerken, dass die Sickerwassermenge ca. 10 l/s in diese extrem große Fläche von ca. 130.000 m² betrug. Von den 42 Brunnen wurden nur 2 zur Brauchwasserentnahme betrieben und diese Maßnahmen reichte aus, um den Grundwasserspiegel ca. 2 m unter der tiefsten Aushubsohle zu halten. Der kleine tiefste Teil der Baugrube um den Pumpensumpf lag auf Kote 36 m und war in Bezug auf den Auftrieb faktisch gerade noch sicher. Die vorher nicht auszuschließende Möglichkeit einer größeren Fehlstelle in der abdichtenden Schicht trat nicht ein.

6 Betonbauwerke

Zu Ende des Jahres 2004 war der Aushub in einigen Teilen der Baugrube und die permanente Schlitzwand soweit fortgeschritten, dass das Betonieren der Bauwerke beginnen konnte. Dafür waren ca. 18 Monate vorgesehen, also das volle Jahr 2005 und die Hälfte von 2006. Es war von vornherein klar, dass dieser Zeitraum sehr knapp bemessen war. In 2004 waren alle Eignungstests für die Betonmischungen erfolgreich abgeschlossen worden. Ca. 360.000 m³ Beton waren für die Hauptbauwerke Kraftwerk, Wehr und Doppelschleuse zu betonieren, wobei die Doppelschleuse das größte Volumen hat. Vom Schwierigkeitsgrad waren das Kraftwerk mit den vielen gekrümmten Bauteilen sowie Zweit- und Drittbetonbereichen und das Befüllteil der Schleusen mit den Wasserwegen am höchsten einzustufen. Das oben angegebene Betonvolumen erforderte bei Annahme von Anlaufschwierigkeiten und Abnehmen der Leistung in der Endphase eine Spitzenleistung von ca. 30.000 m³ / Monat über mehrere Monate. Diese Leistung ist praktisch nur in einem Monat erzielt worden und sonst wurden über mehrere Monate hin Leistungen von 25.000 m³ - 28.000 m³ erreicht. Einer der Gründe für diese Schwierigkeiten war eine höhere Tonnage an Bewehrung pro m³ Beton als ursprünglich angenommen. Es waren 95 kg/m³ geschätzt und ausgeschrieben worden und in der Realität wurden dann ca. 120 kg/m³ im Schnitt gebraucht. Das führte zu Engpässen beim Stahleinbau und zu verlängerten Bauzeiten je Block, die mit Personalverstärkung und zusätzlichen Kränen nicht aufgefangen werden konnten. Zusätzlich war die Pumpleistung zur Betoneinbringung unterdimensioniert und musste, um flexibler zu werden, aufgestockt werden.

Trotzdem hielt sich die Verzögerung in Grenzen und konnte durch Konzentration auf Bauteile, die für die anderen Lose Schnittstellen bedeuteten, weitgehend aufgefangen werden. So konnte der Stahlwasserbau im Schleusen- und Wehrbereich fast pünktlich beginnen. Nur im Krafthaus kam es zu Verzögerungen. Die Turbinen/ Generatormontage wurde 3 Monate verzögert, was für die endgültige Fertigstellung durch spätere reichliche Pufferzeiten ohne Belang ist. Der kritische Pfad läuft über die abschließenden Erdarbeiten wie z.B. den Kofferdammaushub. Die Montage der elektrischen Ausrüstung konnte pünktlich im Juni 2006 beginnen. Bild 3 zeigt das Kraftwerk und das Wehr in der Endphase der Betonarbeiten. Man erkennt auch im Vordergrund die umfangreichen Sohl- und Böschungsschutzarbeiten, die durch die Fein- bis Mittelsande, die im Projektgebiet vorherrschen, notwendig werden. Der Einstaubeginn war auf den 01. November 2006 terminiert und von der Bauseite hätte dieser Termin auch gehalten werden

können. Allerdings traten vom Stahlwasserbau her einige Verzögerungen ein, die fertigungstechnischer Art waren und zudem wurde eins der Zylinderschützen durch eine falsch angeschlossene Hydraulikleitung beschädigt. Die Konsequenz waren Reparaturarbeiten auf der Baustelle an Stahlwasserbauteilen, die zu einem Monat Verzögerung des Einstaus führten. Obwohl nicht ganz zufrieden stellend, wird man aber nach 4,5 Jahren Bauzeit mit einem Monat Verzögerung leben können. Zur Zeit der Abfassung dieses Artikels im Mai 2007, sieht es so aus, als ob die Anlage pünktlich im Mai 2008 in Betrieb gehen könnte.



Bild 3: Ansicht von Kraftwerk und Wehr von oberstrom

7 Finanzierung

Die geplanten Gesamtbaukosten des Naga Hammadi Projektes waren in effektiven Preisen vom August 2002 375 Mio. Euro. Davon werden 90 Mio. Euro von der Europäischen Entwicklungsbank getragen, die Bundesrepublik Deutschland vertreten durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau hat ein Budget von ca. 200 Mio. Euro für das Projekt und der Rest wird vom Ägyptischen Staat getragen.

Anschrift des Verfassers

Dipl.-Ing. Bernd R. Hein
Lahmeyer International GmbH
Friedberger Str. 173
61118 Bad Vilbel
bernd.hein@lahmeyer.de