

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Krenz, Uwe

Naga Hammadi – die neue Staustufe am Nil

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105461>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

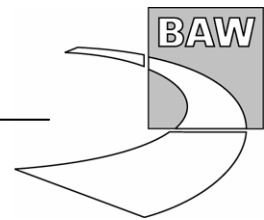
Krenz, Uwe (2008): Naga Hammadi – die neue Staustufe am Nil. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Neubau von Verkehrswasserbauwerken. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 25-35.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

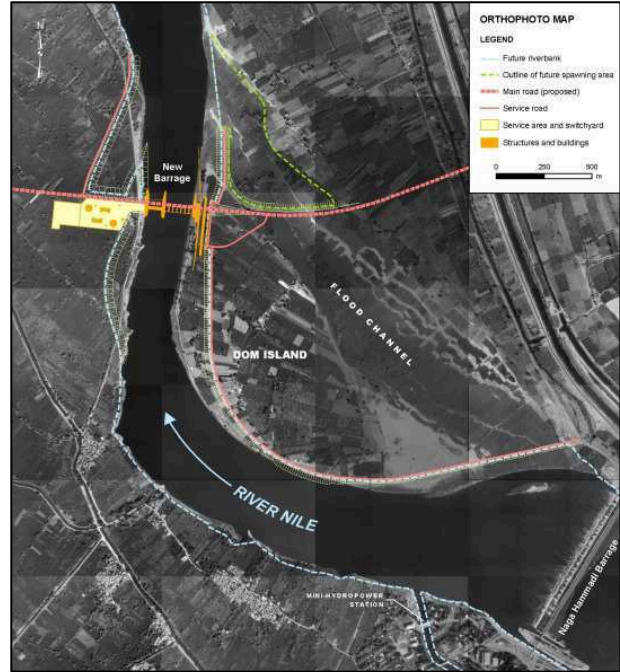
Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





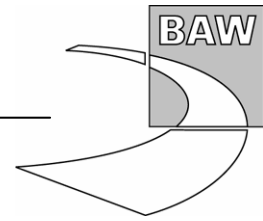
Dipl.-Ing. U. Krenz, Bilfinger Berger AG, Wiesbaden
Naga Hammadi – die neue Staustufe am Nil



1. Projektbeschreibung
1.2 Bestehende Staustufe

Die alte Naga Hammadi Staustufe, gebaut 1930, sichert die Bewässerung und damit die landwirtschaftliche Nutzbarkeit von ca. 320.000 ha Land in Oberägypten. Aufgrund des baulichen Zustandes und gestiegener Anforderungen wurden 1993 eine Konzeptstudie, 1994 eine Zwischenstudie sowie 1997 eine Machbarkeitsstudie über Rehabilitation oder Ersatz des Bauwerkes durchgeführt. Deren Ergebnis führte zu Planung und Bau einer neuen Staustufe 3,5 km flussabwärts, die zusätzlich mit umweltfreundlicher Wasserkraft einen wichtigen Beitrag zur Stromversorgung des Landes liefern wird.





1.3 Neue Staustufe

Die Bauarbeiten am 336 m langen Dammpjekt begannen im Jahr 2002. Nach Ihrer Fertigstellung 2008 wird die neue Naga Hammadi Staustufe:

- das bisherige Stauniveau um 50 cm anheben und die Landbewässerung nachhaltig gewährleisten
- mit 460 GWh Stromerzeugung pro Jahr den Bedarf von 200.000 Haushalten decken
- die Kapazität des Schiffverkehrs durch 2 Schleusen erhöhen
- die Verkehrsverbindung über den Nil verbessern
- zusätzliche 60.000 ha Fläche landwirtschaftlich nutzbar machen

1.4 Bauherr und Finanzierung

Bauherren des Gesamtprojektes sind das Ministry of Water Resources and Irrigation und das Ministry of Electricity and Energy of the Arab Republic of Egypt. Als Consultant fungiert ein internationales Konsortium aus Lahmeyer International (Deutschland), Sogreah (Frankreich) und Electrowatt (Schweiz).

Die geplanten Projektgesamtkosten von ca. 400 Mio. € inklusive Planungs- und Beratungsleistungen werden finanziert durch Kredite der KfW Entwicklungsbank und der Europäischen Entwicklungsbank, EIB.

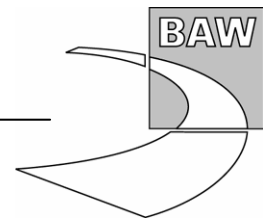
2. Konzept

2.1 Konzept der Staustufe

Die im Zuge der Planung durchgeführten Studien umfassten geologische Untersuchungen, Pumpversuche und 3D-FEM-Grundwassersimulationen sowie Analysen des Einflusses auf Landwirtschaft und Umwelt. Zur hydraulischen Bemessung der Staustufe und zur Optimierung von Leistung und Design führten die Planer 2D-Simulationen der Flusshydraulik für den Umleitungszustand und Endzustand durch. Weiterhin wurden von 1997 bis 1999 am Hydraulics Research Institute in Kairo Versuche mit einer Modellanlage im Maßstab 1:30 vorgenommen.

Wesentliche Elemente sind:

- 1 – Wasserkraftwerk mit 4 Turbinen
- 2 – Wehranlage mit 7 Durchlässen a 17 m Breite
- 3 – Zwei Schifffahrtsschleusen, je 17 m breit und 160 m lang
- 4 – permanente Dichtwand „Cut-off-Wall“ unterhalb der neuen Staustufe
- 5 – permanenter Hochwasserschutzdamm „Closure Dyke“ entlang des östlichen Nilufers zum Schutz des bisher regelmäßig überfluteten Umlandes „Flood-Channel“
Kraftwerk, Wehranlage und Schleusen wurden in einer Baugrube im Nilbett erstellt.
- 6 – temporärer Umleitungskanal
- 7 – temporäre Kofferdämme
- 8 – temporäre Dichtwand umlaufend um die Baugrube



Die Leistungsfähigkeit der Staustufe wurde auf die Sicherstellung der benötigten Bewässerung und auf die Abführung des Nilhochwassers ausgelegt, das Kraftwerk daher nur als Laufwasserkraftwerk geplant. Die neue Normstauhöhe liegt mit 65,90 m ü. NN bis zu 50 cm höher gegenüber dem alten Staupegel. Der Normdurchfluss von 350 m³/s bis 1,670 m³/s erfolgt vollständig durch das Kraftwerk mit geschlossenen Wehrschützen.

2.2 Umleitung des Nils

Besonderheit des Projektes ist die vollständige Umleitung des Nils unter Aufrechterhaltung der Schifffahrt. Dieses Verfahren wurde bisher nur beim Bau des Assuan Staudamms angewendet und ermöglichte die ungeteilte Herstellung des Bauwerks in einer Baugrube. Der dazu benötigte Umleitungskanal mit einer Länge von 1,1 km und einer minimalen schiffbaren Breite von 100 m wurde für einen Abfluss von 2900 m³/s (100jähriges Hochwasser) ausgelegt.

3. Baugrube

3.1 Geologie und Baugrubenkonzept

Ausschlaggebend für die Positionierung der neuen Staustufe waren die geologischen Randbedingungen. Sie werden bestimmt von den jungen quartären Flussablagerungen des Nils. Diese Nilalluviale bestehen aus scheinbar willkürlich verteilten Sedimentationseinheiten, die sich im Baustellenbereich in 3 wesentliche Schichten unterteilen lassen. (Holozäner toniger, sandiger Schluff, pleistozäne Sande und Kiese, sowie pleistozäne Tone und Schluffe).

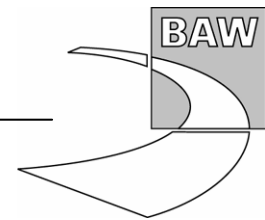
Die hier vorhandene, 40 m bis 55 m tief liegende wasserundurchlässige Schluff/Tonschicht konnte zur Abdichtung der 240.000m² großen Baugrube gegen aufsteigendes Wasser im Bauzustand genutzt werden. Der Grundwasserspiegel korrespondiert grob mit dem Nilwasserstand. Einige Probebohrungen zeigten auch artesischen Wasserstände, die sich aber nicht systematisch in den sehr inhomogenen Boden einordnen ließen.

3.2 Kofferdämme

Die Herstellung der beiden Kofferdämme, und damit der Einbau von 530.000 m³ Dammbaumaterial, wurde wegen des Niedrigwasserstands auf die Winterzeit gelegt. Beginnend mit dem stromaufwärts liegenden Kofferdamm wurde der Nillauf vollständig unterbrochen.

3.3 Temporäre Dichtwand

Zur Abdichtung der Baugrube stellte die Fa. Bauer, Subunternehmer der Bau-ARGE, in den Umfassungsdämmen die 1815 m lange 2-Phasen-Dichtwand her. Die ca. 95.000 m² Dichtwand wurde 44 bis 59 m tief abgetäuft, um 3 m Einbindetiefe in die grundwasser-sperrende Schicht zu gewährleisten.



3.4 Permanente Dichtwand

In der Achse der Betonbauwerke sah das Konzept 23.000 m² permanente 2-Phasen-Dichtwand vor, die über die gesamten Stauanlagenbreite mit den Bauwerken verbunden wurde. Wasserumlaufigkeiten um die Staustufe und deren negative Einwirkungen auf die Bauwerksgründungen sind dadurch langfristig minimiert. Gleichzeitig wird die Auftriebssicherheit der Bauwerke positiv beeinflusst.

Die Sohle der Staustufenbauwerke sowie die äußeren Wände am rechten und linken Ufer wurden an den bewehrten Kopfbalken der Dichtwand wasserundurchlässig angeschlossen

4. Wasserbau

Für die Erstellung des Umleitungskanals sowie zur Befestigung des Nillaufes für die neue Staustufe mussten umfangreiche Aushubarbeiten durchgeführt werden sowie anschließend Kanalbett, Flussbett und Böschungen entsprechend den hydraulischen Erfordernissen verstärkt werden. Die sich an den Trockenaushub des Umleitungskanals anschließenden Hauptarbeiten waren:

- Unterwasseraushub („Dredging“) und Profilierung mit Saugbaggern
- Einbau von Geotextillagen und Flussbettbefestigung

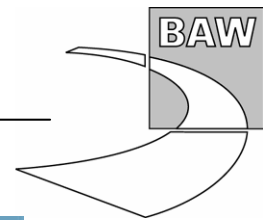
Der Umleitungskanal sowie das Nilbett inner- und außerhalb der Baugrube wurden mit insgesamt 500.000 m² Geotextil und 740.000 m³ Steinpackung („Riprap“,) und Kies verstärkt.

Die Kontrolle der Aushubtiefen und -massen der Nassbaggerarbeiten erfolgte durch eine vorgeschaltete Aufnahme der Oberflächen in einem 10 m x 10 m Raster sowie dann baubegleitend zu den Aushubarbeiten regelmäßig mittels GPS und Echolot. Vor dem Einbau von Geotextil bzw. Riprap überprüfte der Consultant die geforderte Aushubgenauigkeit (+0 bis -25 cm) abschnittsweise per Echolot.

Der Schwimmbagger spülte das Aushubmaterial über eine, bis zu 3 km lange, nilquerende Druckleitung in die zur Landauffüllung vorgesehenen Bereiche des Flood-Channel.

4.1 Einbau des Geotextils

Der Einbau des Geotextils erfolgte unter fließender Strömung von bis zu 1,5 m/s in bis zu 10 m Wassertiefe. Dabei musste zwischen einzelnen Vliesbahnen eine minimale Überlappung von 50 cm eingehalten werden, erschwert durch Sichtweiten von nur 10 cm für Taucherarbeiten. Mit Vorversuchen wurden verschiedene Verfahren getestet. Ausschlaggebend für die Wahl des folgenden Verfahrens waren neben der gesicherten korrekten Positionierung des Geotextils auch die Verfügbarkeit benötigter Gerätschaft, Kosten sowie die notwendigen Einbauleistungen.



5. Betonarbeiten und konstruktive Besonderheiten

5.1 Eckdaten

Im Zuge der gesamten Baumaßnahme wurden 393.000 m³ Beton und 48.000 t Bewehrungsstahl eingebaut, verbunden mit 265.000 m² Schalung.

Ihre Herstellung musste in enger Abstimmung mit den einzubauenden Kraftwerkselementen und der Wehr- und Schleusentechnik der anderen Lose geschehen.

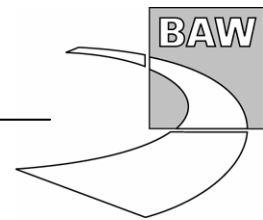
Für die Ordnung dieser überlappenden Arbeiten der verschiedenen Lose wurden die Betonarbeiten in Erst-, Zweit- und Drittbetonabschnitte gegliedert.

Größte Herausforderung der Betonarbeiten war die sehr kurze Kernbauzeit von 18 Monaten (von 11/2004 bis 06/2006) für alle Erstbetonbauwerke. Diese Bauphase war geprägt durch zahlreiche vertragliche Meilensteine für die Bauabschnitte, welche die Schnittstellen zu den anderen Losen definierten.

Die zum Gesamtbauwerk gehörende Brücke, ausgelegt auf 70 t Verkehrslast, führt über alle drei Bauabschnitte Kraftwerk, Wehr und Schleusen und ist in den folgenden Längsschnitten der Staustufenelemente beschriftet. Im Bereich des Wehres wurde die Brücke – wie der Einlassträger im Kraftwerk – ohne Lehrgerüst unter Verwendung von Fachwerkträgern als Unterkonstruktion hergestellt.

Die Turbineneinheit wird von beiden Seiten von zwei Ablenkbauwerken, auch Hauptpfeiler genannt, eingefasst. Diese Bauwerke, welche im Grundriss der Querschnittsgeometrie einer Flugzeugtragfläche ähneln, wurden als Vorlaufabschnitte hergestellt. Dadurch konnten die Turbineneinheiten und die Wehrelemente frühzeitig angeschlossen werden. Die Hohlkammern in diesen Stützbauwerken wurden teilweise mit Ballast gefüllt, bevor die obere Decke geschlossen werden konnte.

Die Erstbetonarbeiten umfassten die Herstellung aller tragenden und einspannenden Bauteile sowie der Fundamente zur Aufnahme der Turbinen. Die bekannte Problematik der Qualität von Arbeitsfugen zwischen Erst- und Zweitbeton wurde durch den Einsatz von großflächigen Streckmetallschalungen und Rückbiegebewehrung oder Bewehrungsschraubanschlüssen gelöst.



Der Zweitbeton betraf hauptsächlich den Anschluss beziehungsweise den großflächigen Verguss von Einbauteilen und tragenden Turbinenelementen mit der tragenden Betonkonstruktion. Einzelne Zweitbetonabschnitte hatten Volumina von bis zu 100 m³. Herauszuheben ist die sehr hohe Bewehrungskonzentration auf engem Raum, die eine große Herausforderung an die Bewehrungsarbeiten und die Betoneinbautechnologie in diesen Abschnitten darstellte.

Der Drittbeton umfasste im Wesentlichen die Vergussarbeiten von Maschinenfundamenten und Einbauteilen.

Große Herausforderungen lagen vor allem in der Ausbildung des Gefällebetons mittels einer einhäutig geneigten Schalung als Hauptbestandteil der Herstellung eines jeweils 1300 m³ umfassenden Betonierabschnittes. Auf Grund der geforderten Pumpfähigkeit des Betons und des gleichzeitig sehr hohen Anspruches an die Ebenheit der Oberfläche wurde eine Modulschalung entwickelt, welche die geforderten Kriterien sicherstellte.



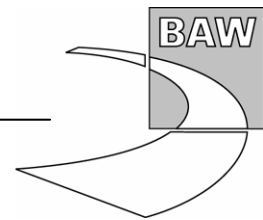
6. Betontechnologie

6.1 Randbedingungen

Für den Entwurf der Betonzusammensetzungen mussten verschiedene Zwangspunkte berücksichtigt werden:

6.2 Bauteilgeometrie

Es wurden nahezu ausschließlich massive Bauteile mit Bauteildicken von bis zu 5 m hergestellt. Zur Reduktion von Zwangsspannungen sollte der Beton während der Erhärtung eine möglichst geringe und langsame Wärmeentwicklung aufweisen. Um dies sicherzustellen, waren die zulässigen Frischbetontemperaturen beim Einbau auf 25°C und die maximale Temperatur im Bauteilkern auf 53°C beschränkt, mit einem zulässigen Temperaturgradienten von kleiner 20°C zur freien Oberfläche des Betonkörpers. Für den Zement waren bezüglich der Hydratationswärmeentwicklung nach der semi-adiabatischen Langavant Methode Grenzwerte von 200 J/g spezifiziert. Diese wärmetechnischen Grenzwerte konnten nur mit



einer Mischung aus Zement, Schlacke und Flugasche zielsicher erreicht werden, deren Anlieferungstemperaturen zusätzlich auf maximal 50°C begrenzt waren.

6.3 Klimatische Randbedingungen

Eine weitere Herausforderung für die Wärmetechnik bildeten die Tagestemperaturen die von Mai bis September bei bis zu 49°C im Schatten liegen können, während die Nachttemperaturen in diesem Zeitraum zwischen 20 und 25°C betragen. Im Winter fallen die Temperaturen auf 7 bis 22°C. Damit ergibt sich bereits aus dem normalen Tagesverlauf der Temperaturen ein Gradient von 15 bis 20°C.

Zur Einhaltung der geforderten Frischbetontemperatur an der Einbaustelle von 25°C musste neben der Kühlanlage für Anmachwasser eine zusätzliche Frischbetonkühlung mit Scherbenanlagen installiert werden.



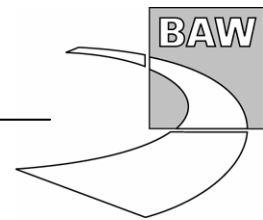
6.3. Logistik und Einbau

Die Betonanlage bestand aus zwei baugleichen Mischanlagen Johnson 430 mit 3 m³ Freifallmischern sowie einer Elba Anlage mit 3 m³ Zwangsmischer. Die Nennleistungen der einzelnen Anlagen betragen je 90 m³ pro Stunde mit einer effektiven Mischleistung von 60 bis 65 m³ pro Stunde. Damit konnten die Spitzenleistungen für die Betonproduktion von 100 m³ pro Stunde von den beiden Johnsonanlagen abgedeckt werden.

Für die drei Anlagen standen zur Bevorratung insgesamt 12 Zementsilos mit je 40 Tonnen Kapazität für Zement und Flugasche zur Verfügung.

Zur Kühlung des Anmachwassers war eine Kühlanlage mit einem isolierten Vorratsspeicher installiert, welche eine Wassertemperatur von 5°C mit einer Leistung von 6,4 m³ pro Stunde produzierte.

Zur Steuerung der Frischbetontemperatur auf die geforderten 25°C wurden für jede der Johnson Mischanlagen je eine Scherbenanlagen Typ Flip 42 der Firma KTI Piersch Kältetechnik (Leistung je 1,75 Tonnen pro Stunde) mit einem Vorratscontainer von 23 Tonnen installiert. Die Parameter der Anlage mussten auf die maximale Betonleistung im Sommer ausgelegt werden.



Für den Betontransport zur Einbaustelle standen 20 Mischfahrzeuge mit Trommelkapazitäten von je 8 m³ zur Verfügung. Zur Kühlung wurden die Trommeln mit einem Jutetuch bespannt das permanent nass gehalten wurde.



6.4 Qualitätssicherung

Zur Sicherstellung der Qualität der Baustoffe war ein Labor eingerichtet, das für eine Qualitätskontrolle für den Erdbau und den Betonbau ausgestattet war. Die Labormannschaft rekrutierte sich aus lokalem Personal, das von einem deutschen Baustoffingenieur geleitet wurde.

Zur Sicherstellung der Betonqualität wurden die Standardtests an den Ausgangsstoffen in regelmäßigen Abständen durchgeführt.

Während der Bauzeit musste die Hydratationswärme der Bindemittel mit der Langavant Methode nachgewiesen werden. Auf der Baustelle wurde zur Kontrolle der Hydratationswärme permanent in jeweils zwei bis drei Massenbetonbauteilen parallel mit Thermologgern (8 Kanäle) die Kern- und Randtemperaturen über Zeiträume von jeweils 2 bis 3 Wochen gemessen.

Die Gesteinskörnungen wurden während der gesamten Bauzeit mit Schnelltests auf ihre Alkali-Silika-Reaktivität überprüft.

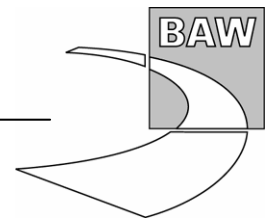
7. Technische Aspekte der weiteren Lose

7.1 Stahlwasserbau

Mit dem Leistungspaket Los 2 beauftragte der AG die Firma DSD NOELL. Der Lieferumfang beinhaltete die Stahlbauarbeiten für Wasserkraftwerk, Wehranlage und Schleusen. Der Einbau erfolgte parallel und eng verzahnt mit den Betonarbeiten.

Wasserkraftwerk:

- 2 Sätze Rollschütze 14,2 x 15,4 m
- 3 Krane (10 bis 200 t)



- 4 Sätze Rechen (16,7 x 25 m)
- 2 Stück Rechenreinigungsmaschinen

Wehranlage:

- maximaler Ablauf von 7000 m³/s
- 7 Radial-Segmentschütze b = 17,0 m, h = 13,5 m, mit hydraulischen Antrieben
- Aufsatzklappen auf Segmentschützen steuern Durchfluss bis 800 m³/s
- 2 Sätze Notverschlüsse
- 1 Kran (50 t)

Schleusen:

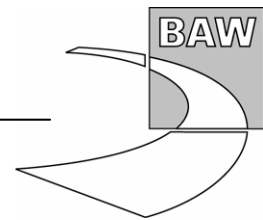
- 3 Stemmtore und 1 Drehsegment 17,0 x 5,1 bis 11,6 m mit hydraulischen Antrieben
- 1 Satz Notverschlüsse, 2 Sätze Schiffstoßschutzanlage
- 4 Sätze Umlaufverschlüsse mit hydraulischen Antrieben
- 2 Krane (35 t)
- minimale Füll-/Absenkzeit von 11 Minuten



7.2 Turbinen, Generatoren, Elektrische Ausrüstung

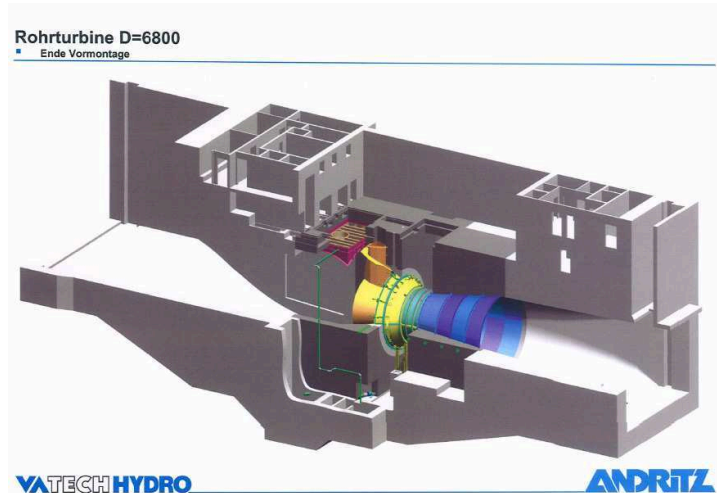
Der Leistungsumfang VA TECH Escher Wyss und VA TECH Hydro, umfasste Lieferung und Montage der Turbinen und Generatoren mit folgenden Eckdaten:

- 4 Rohrturbinen mit 3-blättrigen Propellern, Durchmesser 6,8 m
- 4 Generatoren, angetrieben mit 71,4 Umdrehungen pro Minute
- Maximaldurchfluss je Turbine 460 m³/s
- Gesamtleistung 4 x 16 MW = 64 MW
- Durchschnittliche Jahresenergieproduktion von 460 Gigawattstunden



- Elektrische Ausrüstung, Steuerungstechnik für Kraftwerk und Schleusen sowie das 220KV Umspannwerk.

Mit der 31,5 km 220 kV-Überlandleitung wird der Strom des neuen Kraftwerks in das nationale Stromnetz eingespeist werden. Die Strecke wird mit Gitterstrommasten im maximalen Abstand von 370 m überbrückt. (rein ägyptische Leistungen)



7.3. Wertschöpfung

Der Auftraggeber, das Ministry of Water Resources und Irrigation, hatte bereits bei den Vertragsverhandlungen großen Wert auf eine ägyptische Wertschöpfung gelegt, mit der Einbindung von lokalen Nachunternehmern.

Mit der Vergabe von großen Nachunternehmerleistungen an lokale Unternehmen wie z.B.: Bau der Wohnhäuser des Konferenzgebäudes, der Betriebsgelände und Werkstätten, Nassbaggerarbeiten, Trockenaushub, Verlegen von Bewehrungsstahl sowie Lieferleistungen von Beton-Zuschlagsstoffen wurde zusammen mit über 3.000 ägyptischen Mitarbeitern dieser Forderung Rechnung getragen.

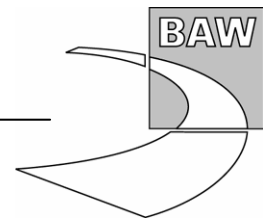
8. Ökologische Aspekte

8.1 Anpassung der Head Regulators

Die neue Staustufe staut den Nil um 50 cm höher an als zuvor. Zwei bestehende und weiter zu nutzende „Head-Regulators“ regulieren die Wasserstände der 150 km und 200 km langen Bewässerungskanäle westlich und östlich der Naga Hammadi Barrage. Sie mussten an den neuen Wasserstand angepasst werden. Die bestehenden Sohlen der Bauwerke wurde mit 75 cm dicken Stahlbeton verstärkt und das Mauerwerk an insgesamt 37 Injektionsstellen mittels vertikaler Injektionsbohrungen mit Zementsuspension verpresst. Die Flachschiebe wurden durch neue, automatisch steuerbare ersetzt.

8.2 Landgewinnung

Der Hochwasserschutzdamm „Closure Dyke“ ermöglichte es, 130 ha neues Land als landwirtschaftlich nutzbare Fläche zu gewinnen. Die für Umleitungskanal und Baugrube ausgehobenen Massen wurden dazu in den Flood Channel gespült bzw. transportiert. Die mit der



neuen Staustufe optimierten Bewässerungsmöglichkeiten werden genutzt, um weitere 60.000 ha Land zur landwirtschaftlichen Nutzung zu erschließen.

8.3. Zusätzliche Umweltvorhaben

Begleitend zum Bau der neuen Staustufe wurden zwei zusätzliche Umweltvorhaben im Umfang von etwa 26 Mio. € notwendig, um die landwirtschaftliche Entwässerung sowie die bestehenden Gebäude und Sanitärsysteme an den steigenden Grundwasserspiegel anzupassen und den entwicklungspolitischen Erfolg des Projektes sicherzustellen.

Der Anstieg des Grundwasserspiegels im Umland der neuen Naga Hammadi Barrage hätte negativen Einfluss auf die Landwirtschaft gehabt:

- Gefahr von Bodenversalzung
- Beeinträchtigung der bestehenden Abwasser- und Sanitäreinrichtungen
- Schäden an bestehenden Bauwerken und Gründungen

Mittels Ausbau und Rehabilitation der Felldränagen und Bewässerungskanäle, dem Neubau einer Pumpstation und der Erneuerung einer weiteren, der Entwicklung und Einführung eines nachhaltigen Unterhaltskonzeptes der neuen Anlagen sowie der Absenkung des Grundwassers im Ortsbereich zum Schutz gefährdeter Bausubstanzen wurde der Problematik entgegengewirkt .

