GERHARD GIRMSCHEID
Dr.-Ing., Design Manager, Fru-Con Corporation, St. Louis/USA
Geboren 1949
Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Hochschule in Darmstadt. 1978 Diplom, 1984 Promotion, Technisches Büro für Brückenbau der Bilfinger + Berger Bau-AG, Wiesbaden, Design Manager der Fru-Con Corporation in St. Louis in Ägypten.
Verschiedene Veröffentlichungen und Vorträge, u. a. zu Technischen Biegetheorien und geklebte Segmentfugen.

Abwasser-Kläranlage Alexandria/Ägypten Eine Pumpstation aus dem Trockendock

Einführung

Viele von Ihnen verbinden Alexandria mit einem der sieben Weltwunder der antiken Baukunst: Der Leuchtturm von Pharos, erbaut 279 v. Chr. vor Alexandria.

In den letzten 30 Jahren hat sich Alexandria von einem Kultur- und Handelszentrum zu einem Industriezentrum mit ca. 3 Millionen Einwohnern entwikkelt.

Frucon St. Louis (USA), eine Tochtergesellschaft der Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft, erhielt im Jahr 1987 den Auftrag zum Bau von zwei Großkläranlagen in Alexandria, mit einem Gesamtauftragswert von 100 Millionen US-Dollar. Zu diesem Auftrag gehörte auch eine ca. 21 m unter der Erdoberfläche gegründete Pumpstation (Bild 1) zur Förderung des Abwassers

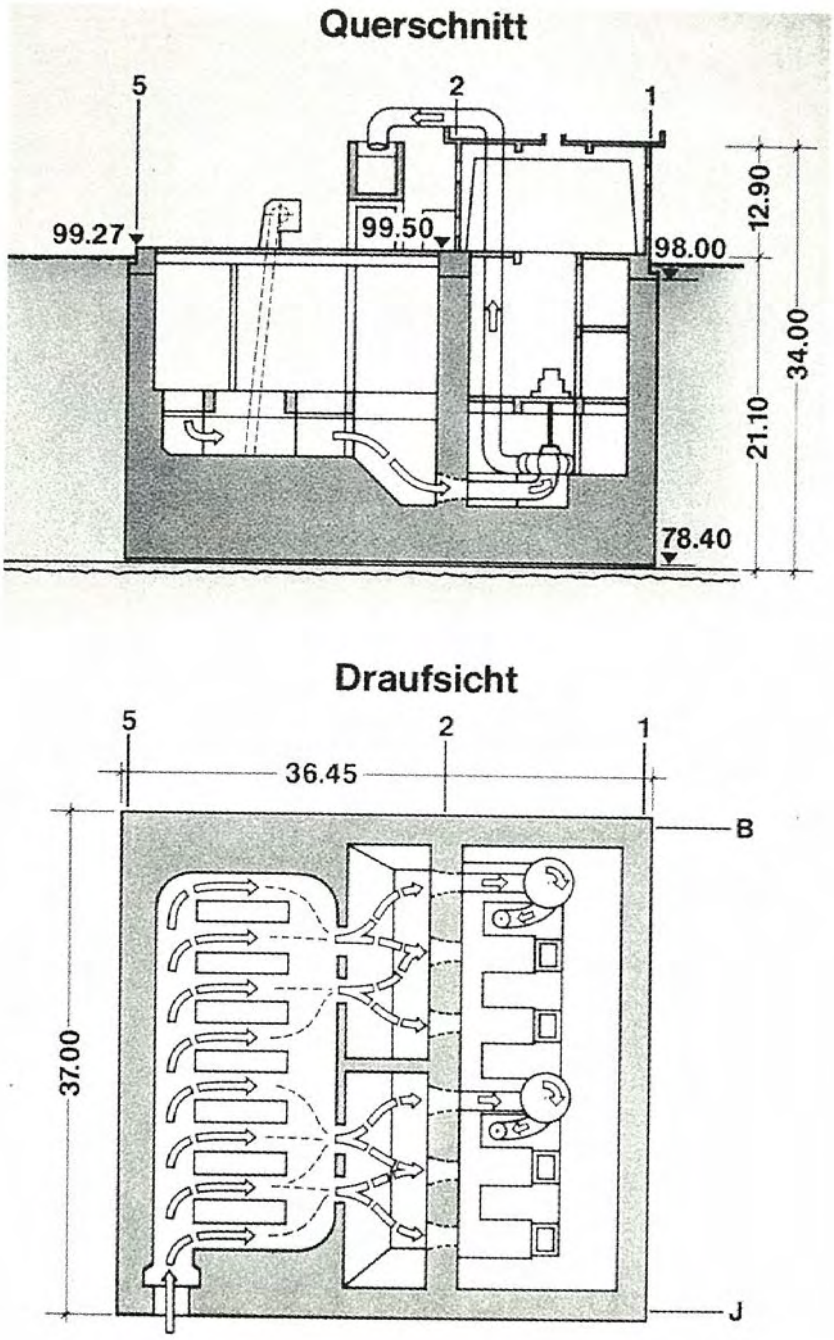


Bild 1.
Pumpstation
im Endzustand

aus den Gravitationssammlern in die Kläranlage. Über dieses Bauwerk werde ich hier berichten.

Entwurfsplanung

Diese Pumpstation sollte ursprünglich in einer trockenen, runden Schlitzwandbaugrube hergestellt werden. Aus folgenden Gründen war das nicht möglich:

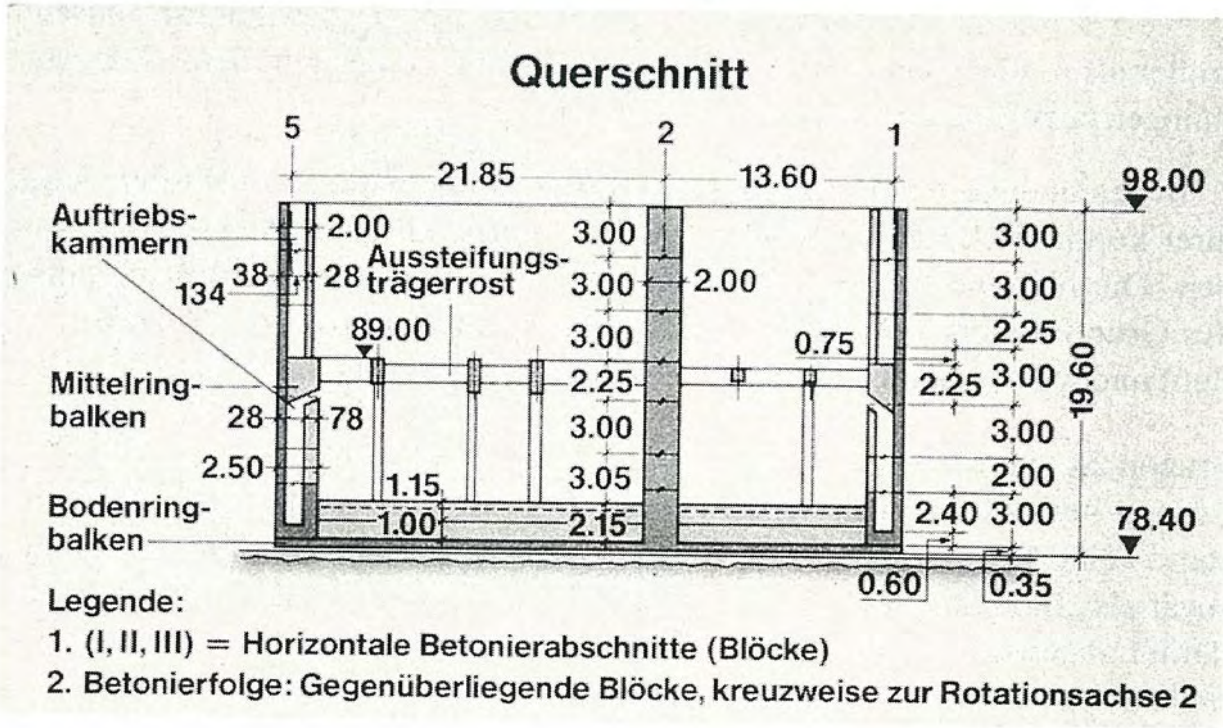
1. Die Darcyschen Durchlässigkeitsbeiwerte waren um den Faktor Tausend größer als in den geotechnischen Voruntersuchungen des mit diesen Untersuchungen beauftragten Unternehmens angegeben.

2. In der an die geplante Anlage grenzenden Siedlung waren 19 Häuser wegen ihrer kontinuierlichen schiefen Setzungen bereits als kritisch eingestuft worden. Die für eine trockene Schlitzwandbaugrube notwendige Entspannung des Grundwassers hätte das Stadtgebiet in einem Radius von 1000 m beeinflußt und war somit aus haftungsrechtlichen Gründen nicht akzeptabel.

Frucon St. Louis wurde beauftragt, Lösungsvorschläge auszuarbeiten. Die Lösung sah eine schwimmende Herstellung des Bauwerks vor. Deshalb bestand keine Notwendigkeit, das Grundwasser abzusenken, sondern es konnte sogar als „Bauhilfsmittel" benutzt werden. Alle Entwurfsmaßnahmen wurden darauf abgestellt, ein zum monolithischen Bau äquivalentes Tragwerk herzustellen, wobei der Endzustand sukzessiv mit statisch und geometrisch veränderlicher Gliederung erreicht wurde.

Das ursprünglich geplante Bauwerk war wegen seiner massiven Abmessungen in keiner Bauphase schwimmfähig. Deswegen mußte das Grundsystem auf ein schwimm- und tragfähiges Skelett reduziert werden (Bild 2). So entstand ein schwimmfähiger Senkkasten. Sein statisch-konstruktives System bestand in den einzelnen Bauzuständen aus Multizellwänden, die in einen Rahmen von wand- und deckengleichen Ringbalken, verbunden mit vertikalen Eckstützen, eingebunden waren.

Die Auftriebskammern (1,50 m × 1,34 m) in den Multizellwänden wurden durch Aufteilung der Gesamtwand in eine äußere und eine innere Schale (38 cm bzw. 28 cm) hergestellt. Diese beiden Schalen waren mit Stegen verbunden. Die Bodenplatte hatte bis zu einer Eintauchtiefe von 6,80 m eine Dicke von 35 cm und war mit Rippen 0,50 m × 2,15 m verstärkt. Um dem zunehmenden Wasserdruck widerstehen zu können, wurde in zwei nachfolgenden Bauabschnitten die Dicke der Bodenplatte auf 2,50 m erhöht. Abschnittsweise wurden die Außen- und Innenwände in Schüssen von ca. 3 m hochgezogen und gleichzeitig die Stützen und Aussteifungsträgerroste zur statischen Aussteifung des Multizellsystems ausgeführt. Zum Nachweis der statischen Schwimmstabilität wurden für jeden Bauabschnitt die Schwergewichts- und Auftriebskräfte ermittelt sowie das Freibord überprüft. Die statische Analyse gab Aufschluß über den Gebrauchs- und Grenzzustand für jeden Bau- und Endzustand. Für diese Analysen wurde ein dreidimensionales FEM-System verwendet, auf das hier nicht weiter eingegangen werden kann.



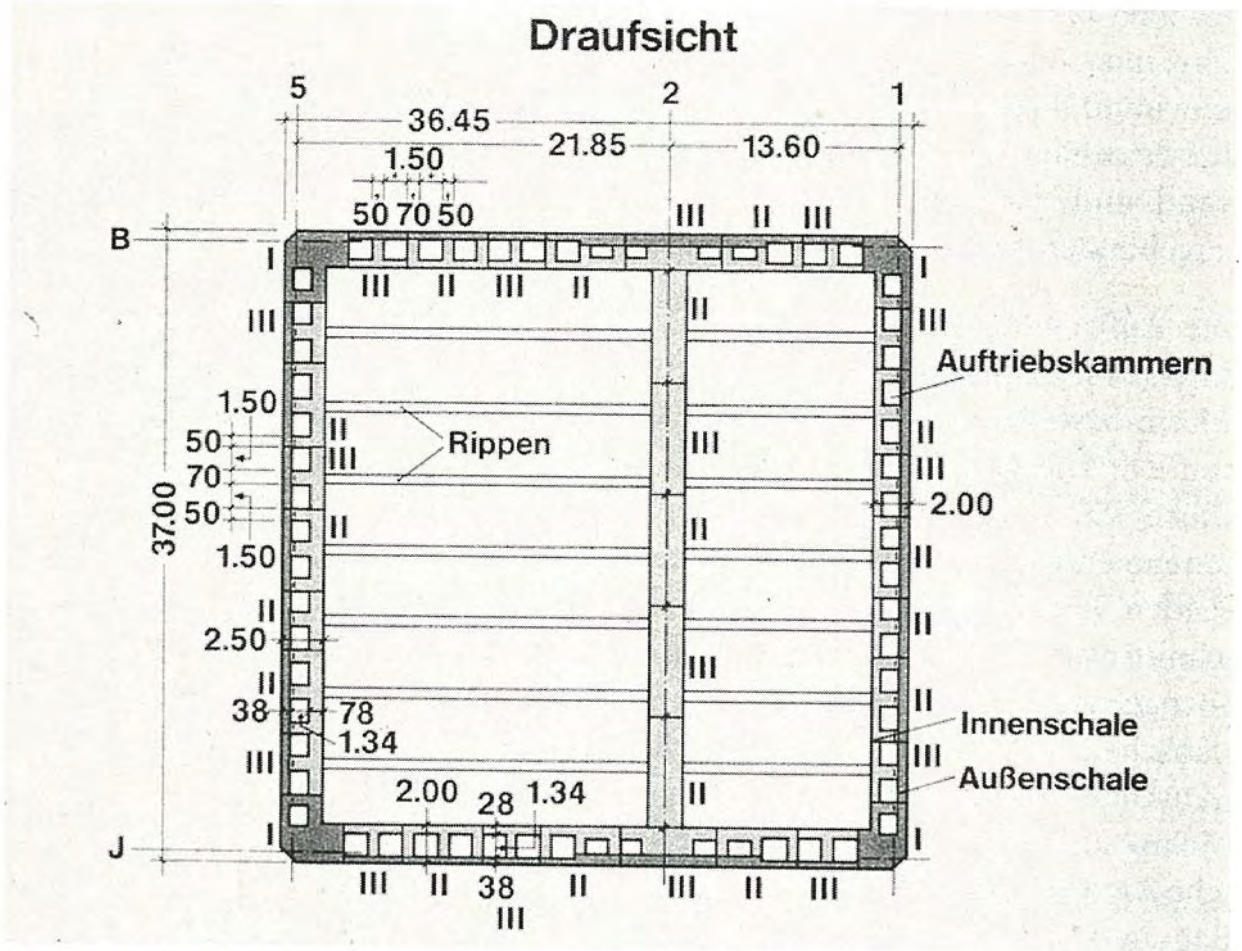


Bild 2. Schwimmfähiges Grundsystem der Pumpstation

Bauausführung

Einführung: Die Bauausführung ist in die in Bild 3 gezeigten 5 Schritte unterteilt:

1. Aushub, Bau der Ringbalken, Herstellung des Gründungsplanums;
2. Bau des 1. Abschnittes der Pumpstation (Basisponton) innerhalb des Trokkendocks;
3. Fluten des Trockendocks und Einschwimmen des 1. Abschnittes (Basisponton);
4. schwimmender Bau der Pumpstation in weiteren 13 Abschnitten;
5. Absetzen der Pumpstation, Injizieren des Gründungsplanums, Rückverfüllung der Baugrube und Versiegelung gegen artesisches Wasser.

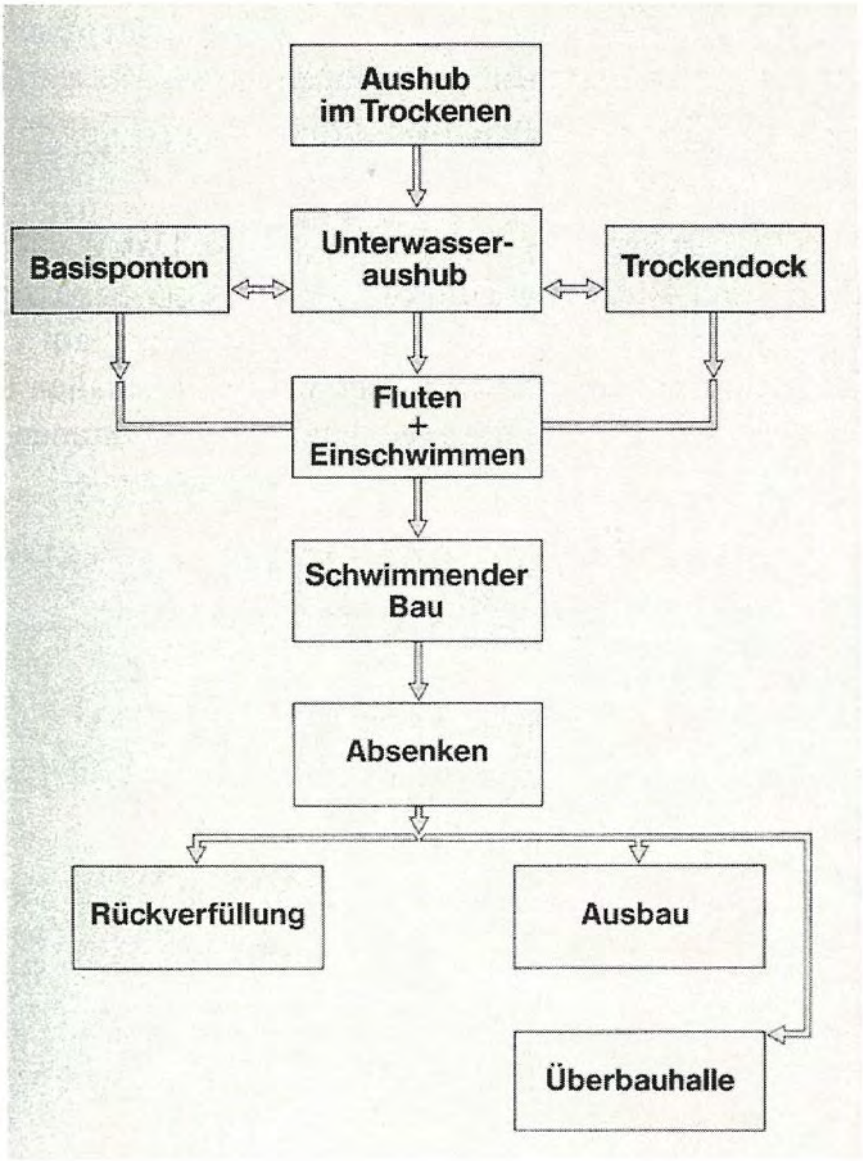


Bild 3. Bauablauf der Pumpstation

Für alle Baumaßnahmen galt die strikte Bedingung, daß die angrenzenden, dicht besiedelten Gebiete nicht durch eine Grundwasserentspannung beeinflußt werden durften.

Aushubmethode

Der Aushub im Schutz der im Durchmesser 52 m großen Schlitzwand war ca. 21 m tief und wurde in zwei Abschnitten ausgeführt:

1. Aushub in der trockenen Baugrube und Bau der Ringbalken zur Aussteifung der runden Schlitzwand. Der Aushub in einer trockenen Baugrube konnte wegen der notwendigen Erhaltung des hydrostatischen Gleichgewichts nur bis zu einer Tiefe von 10 m erfolgen.

2. Unterwasser-Aushub in der gefluteten Baugrube (Bild 4). Um genügende hydrostatische und hydrodynamische Stabilität aufzuweisen, wurden die restlichen 11 m Aushub in der gefluteten Baugrube ausgeführt.

Der Unterwasser-Aushub erfolgte in 2 Arbeitsgängen: 1. Lösen, 2. Fördern und Ausheben.

Zum Einsatz kam eine Fräsdredgerpumpe. Das Wasser-Sand-Gemisch wurde durch eine Ringleitung in ein Sand-Wasser-Separationsrad gepumpt. Der Sand wurde durch ein Schöpfrad kontinuierlich auf Lastwagen geladen. Um das hydrostatische Gleichgewicht aufrechtzuerhalten und um zu verhindern, daß Wasser aus den kritischen Schichten entnommen wird, wurde das abgeschiedene Wasser in die Baugrube zurückgeleitet.

Bild 4.
Unterwasseraushub der gefluteten Baugrube

Herstellen des Fundamentbettes

Nach der Aushubphase wurde das Unterwasserkiesbett hergestellt, um die Unebenheiten des Aushubs auszugleichen. Die 4 Fertigteilfundamente wurden genau einnivelliert und überragten das Kiesbett. Dadurch wurde ein Spalt zwischen Kiesbett und Unterseite der Pumpstation gebildet, der durch eine Injektion aufgefüllt werden sollte.

Trockendock

Zur schwimmenden Herstellung der Pumpstation innerhalb der gefluteten Baugrube mußte zuerst ein pontonähnlicher Abschnitt in einem Trockendock (Bild 5) hergestellt werden. Der so gefertigte schwimmfähige erste Abschnitt, bestehend aus Bodenplatte und Multizellwänden, wurde seitlich neben der sich im Aushub befindlichen Schlitzwandbaugrube betoniert. Der Bauplatz einschließlich der Schlitzwandbaugrube wurde dann als Trockendock, bestehend aus einem Spundwandkastenfangdamm bzw. einem einfachen Spundwandfangdamm, ausgebildet. Der Kastenfangdamm wurde aus Sicherheitsgründen in besonderen Bereichen angeordnet, um unerwartet auftretende Kräfte und Verformungen aufnehmen zu können.

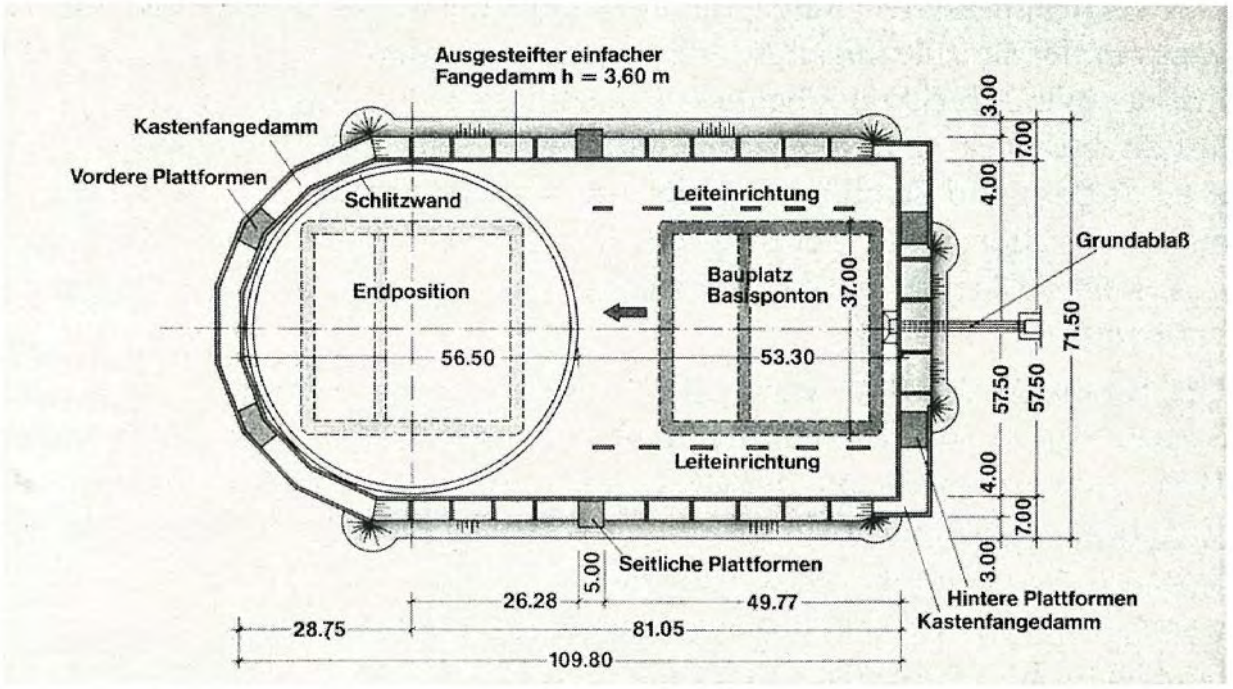


Bild 5. Trockendock

Das Trockendock wurde bis zu einer Höhe von 3,50 m mit insgesamt 17 000 m^3 Wasser gefüllt (Bild 6).

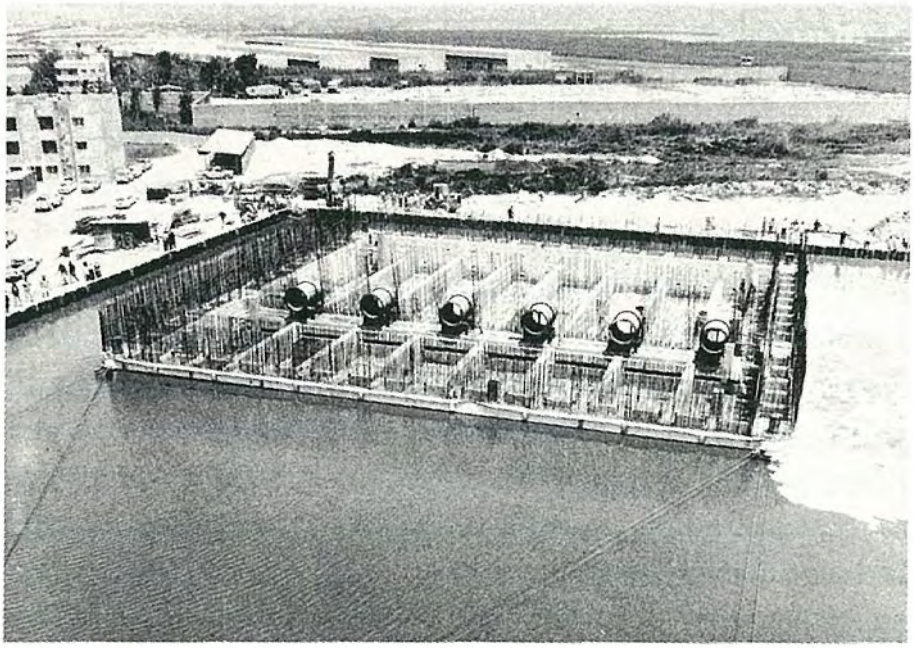


Bild 6.
Einschwimmen des Basispontons

Der Einschwimmvorgang

Das Verziehungssystem mußte für alle Kräfte, die während des Schwimmvorgangs in der Beschleunigungs- und Verzögerungsphase auftraten, einschließlich der Winddruckkräfte bemessen werden. Zum Verziehen war ein System aus direkten Zug- und Stoppseilen parallel zur Schwimmrichtung notwendig. Zum Steuern und Stabilisieren gegen seitliches Abdriften durch Wind wurde ein Stabilisations- und Steuerseilsystem angebracht. Somit waren alle Ecken durch ein Seilsystem mit veränderlicher Geometrie während der Operation verspannt.

Die Elastizität der Seile wurde zur Verzögerung des Systems benutzt. Das System war so ausgelegt worden, daß die Anzugskräfte zu Beginn in voller Höhe zum Anfahren und Beschleunigen vorhanden waren und linear zur Endposition abnahmen. Umgekehrt dazu verhielt sich die Stoppkapazität des Systems, die nichtlinear vom Start zum Ende hin zunahm. Für den Notfall waren sowohl in der Endposition Fender angeordnet, als auch der Doppelfangdamm zur Energiedissipation entsprechend ausgebildet. Der Basisponton wurde in 2,5 Stunden eingeschwommen.

Herstellung des schwimmenden Betonsenkkastens

Der Senkkasten wurde in 2 Phasen hergestellt: 1. Fertigung des Basispontons im Trockendock seitlich neben der Schlitzwandbaugrube. 2. Herstellung aller weiteren 13 Bauabschnitte (Bild 7) im schwimmenden Zustand auf dem Basisponton.

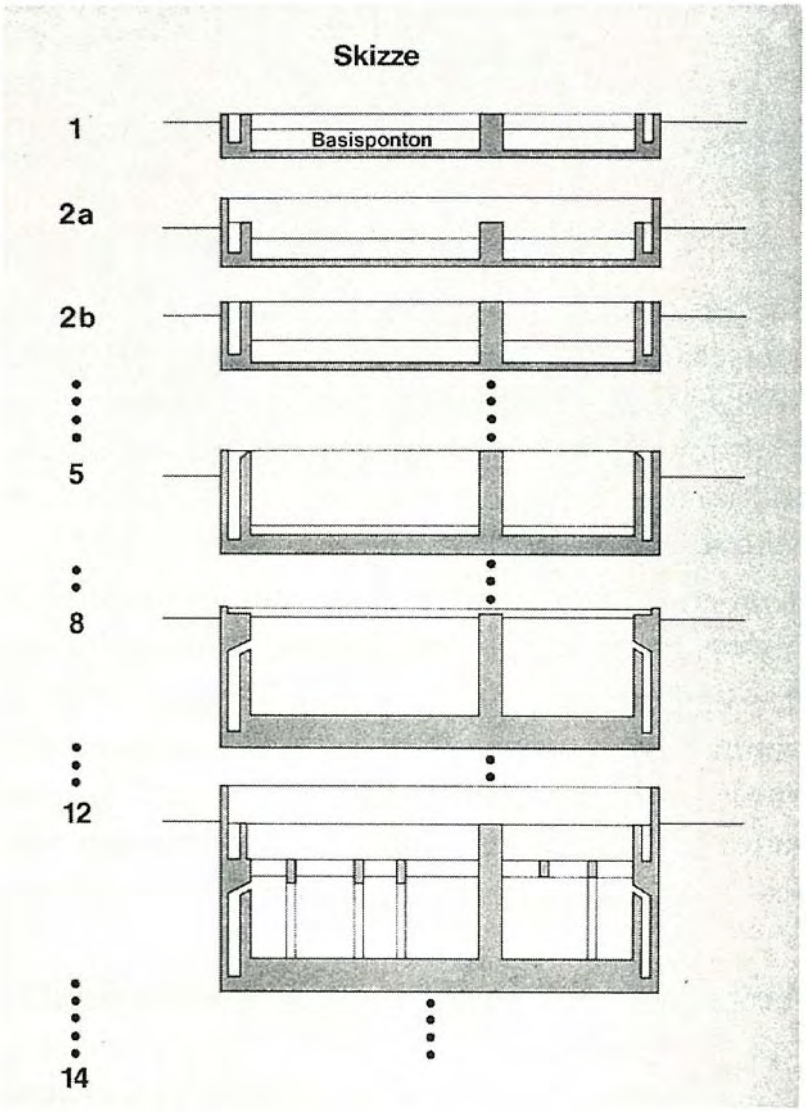


Bild 7.
Phasen der schwimmenden Bauabschnitte

Die vertikalen Bauabschnitte waren in horizontale Betonierabschnitte unterteilt. Zuerst wurde alternierend die Außenschale eines vertikalen Bauabschnitts hergestellt, um den Ring zu schließen (Bild 8). Dann wurden die Stege und Innenschalen einschließlich der Mittelwand alternierend betoniert (Primär- und Sekundärblöcke).

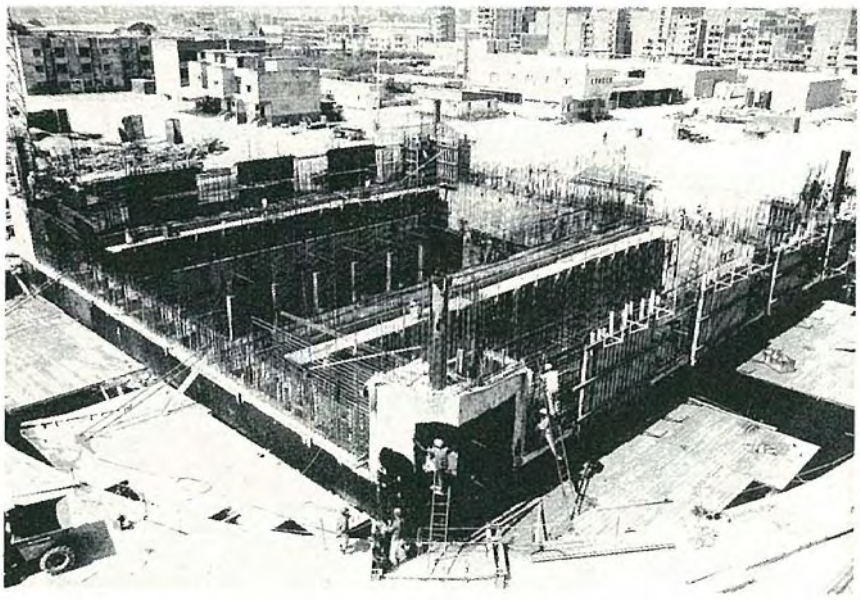


Bild 8.
Horizontale
Betonierabschnitte

Für die Schalung der Auftriebskammern wurde eine sinusförmige Wellblechhautschalung verwendet. Diese Wellblechplatten erhielten einen Epoxid-Anstrich mit einer Quarzsandoberfläche. Diese erzeugte im Beton einen positiven Abdruck, der die Mikrorauhigkeit innerhalb der Wellen beträchtlich erhöhte und somit zu einer Verbesserung der mechanischen Schubreibungsverzahnung beitrug.

In allen schwimmenden Bauzuständen stellte sich die Neigung des Senkkastens entsprechend der Lage des Massenschwerpunktes frei ein.

Zur Vorbereitung des Absetzens wurden im 14. Bauabschnitt alle Auftriebskammern mit schwindarmem, grobkörnigem Beton verfüllt. Durch Ballast wurde der Senkkasten zusätzlich horizontal ausgerichtet. Zu diesem Zeitpunkt hatte die Pumpstation eine Wasserverdrängung von ca. 25 000 t.

Absetzen und Feinhorizontierung des Senkkastens

Nach der Grobhorizontierung wurde der Senkkasten durch Absenken des Wasserspiegels um ca. 2 m auf die 4 Fertigteilfundamente abgesetzt. Zur Feinhorizontierung waren in den 4 massiven Ecken Rohrbeine angebracht, in die Führungsrohre eingelassen waren. Die eigentliche Feinhorizontierung erfolgte durch 4 hydraulische 300-t-Pressen, die sich gegen ein Reaktionsjoch abstützten, das mit Spannstählen an der Pumpstation verankert war (Bild 9). Der Ausgleichshöhenunterschied, der durch die Feinregulierung entstand, wurde durch Metallplatten unter Wasser ausgeglichen.

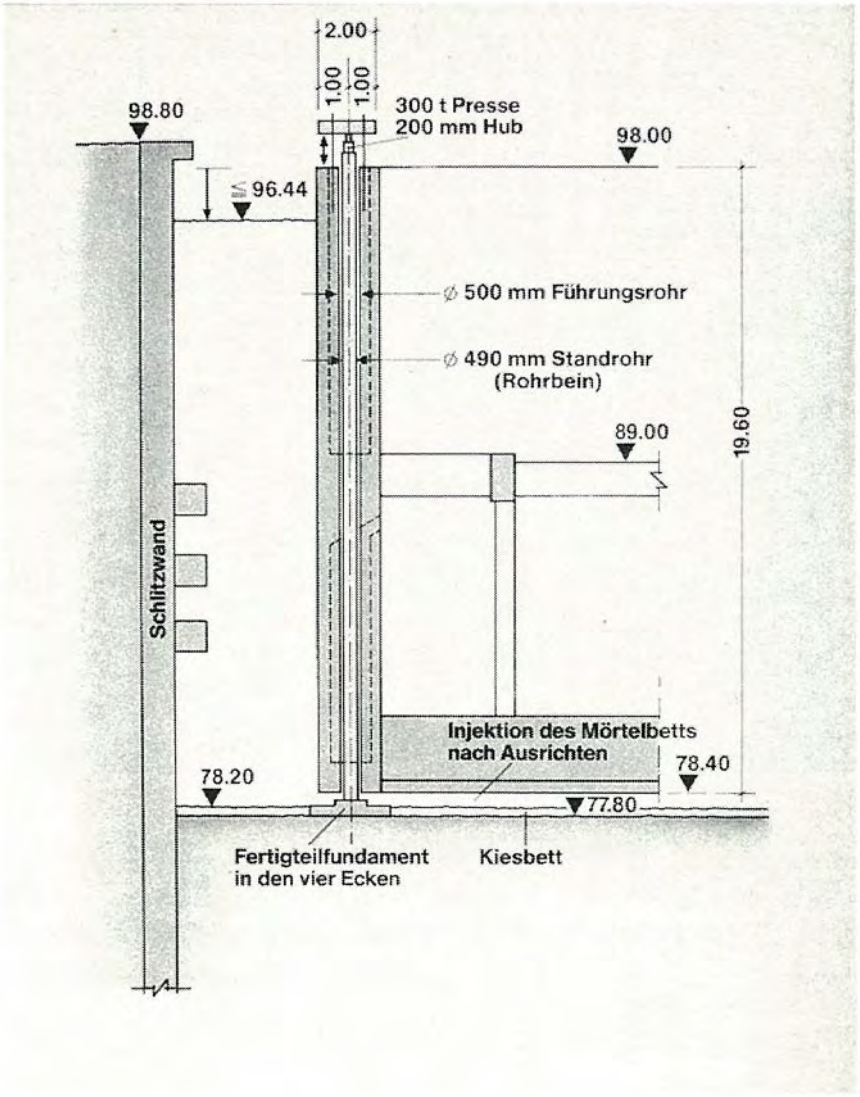


Bild 9.
Absetzen und Ausrichten der Pumpstation

Herstellung des Unterwassermörtelfundamentbettes

Im Endzustand mußte die Pumpstation vollflächig aufsitzen. Somit war es erforderlich, den ca. 20 cm hohen Spalt zwischen Bodenplatte und Kiesfundament von der trockenen Innenseite des Senkkastens mit fließfähigem Mörtel zu injizieren (Bild 10). Zu diesem Zweck wurde ein Primärinjektionsrohrsystem mit Kugelventilen entsprechend einem maximal versetzten Rasterabstand von 5 m während des ersten Bauabschnitts in die Bodenplatte installiert. Ein zusätzliches Sekundärrohrraster wurde zur Erfolgskontrolle bzw. zum Nachinjizieren benutzt. Das Injizieren des Mörtels erfolgte in spiralförmiger Sequenz von den inneren zu den äußeren Wänden. Beim Austreten von Injektionsmörtel durch den Spalt an der Außenseite der Pumpstation wurde

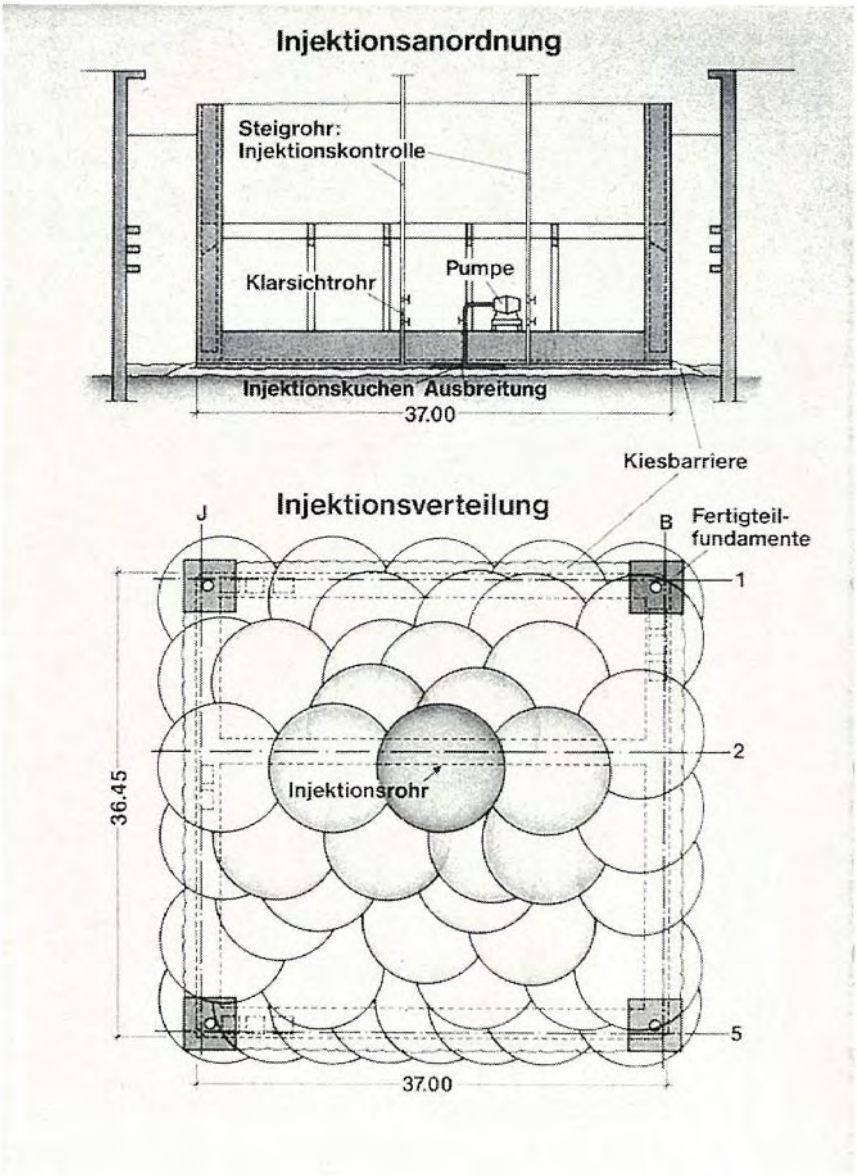


Bild 10.
Herstellung
des Unterwassermörtel-
Fundamentbettes

eine Grobkiesbarriere durch Taucher angeschüttet. Nachdem die gesamte innere Unterfläche der Pumpstation injiziert war, erfolgte ein Injizieren direkt unter den Außenwänden gegen die Monokiesbarriere.

Verfüllung der Baugrube

Die Baugrube wurde in vier Phasen verfüllt. 1. Phase: Unterwasserbetonmembrane als erste Dichtschicht. 2. Phase: Ballastverfüllung mit kornabgestuftem Sand, verdichtet mit einer Vibrationsstange unter Wasser. 3. Phase: Absenken des Wasserspiegels und Einbringen einer Tonschichtabdichtung als zweite Dichtmembrane. 4. Phase: Monosandverfüllung als Auflast und Verdichtung

des viskoseplastischen Tons. Zwischenzeitlich erfolgten der Innenausbau und die Fertigstellung (Bild 11) der Kranhalle oberhalb der Pumpengalerie.

Bild 11.
Fertigstellung
der oberen Decke und
Errichtung der Stützen

Dieses Bauwerk konnte durch eine spezielle Lösung in umweltschonender Bauweise hergestellt werden. Die schlüsselfertige Kläranlage wird 1992 in Betrieb genommen werden und einen entscheidenden Beitrag zum Umweltschutz in Ägypten leisten.

Schrifttum:

[1] Girmscheid, G.: Schwimmend hergestellte Pumpstation: Entwurfsauswahl und Entwurfsplanung, Bautechnik 68 (1991), Heft 4, Seiten 118 bis 128.

[2] Girmscheid, G.: Schwimmend hergestellte Pumpstation: Einschwimmen des Basispontons, Bautechnik 68 (1991), Heft 5, Seiten 147 bis 153.

[3] Girmscheid, G., und Stamm, R.: Schwimmend hergestellte Pumpstation, Bauausführung. Bautechnik 68 (1991), Heft 7, Seiten 217 bis 225.

[4] Girmscheid, G.: Niedrigdruck-Fundamentbett – Unterwasserinjektion unter einem Bauwerk. Bautechnik 68 (1991), Heft 10, Seiten 354 bis 357.