

Schwimmend hergestellte Pumpstation Einschwimmen des Basispontons

Zusammenfassung

Für die außergewöhnliche Aufgabe des Einschwimmens einer schwimmend hergestellten Pumpstation werden die notwendigen Entwurfsuntersuchungen dargelegt und die Ausführung des Einschwimmvorgangs geschildert.

Summary

Floating box caisson solution for a pump station. Towing operation of basic pontoon. Briefing of the design and the execution of the towing operation for the floating box caisson.

1 Einführung

Die Gründe, die zum Bau dieser schwimmenden Pumpstation führten, wurden in [1] erläutert.

Aufgrund der inzwischen gewonnenen geologischen Erkenntnisse war es klar, daß nicht nur die Sandschichten einen 1000fach höheren Durchlässigkeitswert aufwiesen, sondern auch noch zementiert waren und Festigkeiten bis zu 150 kg/cm² hatten. Zudem war durch die rechteckige Geometrie der Pumpstation, die vorgegeben war, und die kreisförmige Form der Schlitzwandbaugrube kein seitlicher Platz vorhanden, um eventuell von einem um den Basisponton rotierenden Dredger aus, der über einem verlängerbaren Arm unter die Pumpstation hätte geführt werden können, den Aushub durchzuführen. Ferner wäre es nicht einfach gewesen, die zementierten Sandschichten effektiv zu zerkleinern und zu lösen.

Daher blieb nur die Alternative, den Basisponton der schwimmenden Pumpstation neben der Baugrube in einem Trockendock herzustellen (Bild 1), nach dessen Fluten über die ausgehobene Baugrube einzuschwimmen, zwischen die Schlitzwand abzusenken und die weiteren Bauabschnitte schwimmend herzustellen. Ein weiterer Vorteil bestand darin, daß der Aushub der Schlitzwandbaugrube parallel zur Konstruktion des ersten Bauabschnitts durchgeführt werden konnte.

Neben dem Trockendock mußten spezielle Verziehungseinrichtungen und Plattformen errichtet werden, um den Basisponton vom Bauplatz über die Baugrube zu verziehen und dort abzusenken.

2 Trockendock

2.1 Geometrie und Bemessung

Die geometrische Form des Trockendocks wurde entsprechend der baubetrieblichen Gesichtspunkte optimiert (Bild 1). Um die Ressourcen optimal einzusetzen, mußte der Aushub mit einem gewissen zeitlichen Vorlauf parallel zum Bau des Basispontons und des Trockendocks fertiggestellt werden. Daher mußte Platz für einen fahrbaren Kran und genügend seitlicher Arbeitsraum zu den Wänden des Trockendocks vorhanden sein.

Die Tragelemente des Trockendocks wurden nach folgenden Kriterien entworfen (Tabelle 1):

- ausreichende Grenztragfähigkeit,
- ausreichende Gebrauchseigenschaften,
- Katastrophenfall : Pontonstoß.

Die Gebrauchseigenschaften waren beim Entwurf von entscheidender Bedeutung. Der Bauherr verlangte äußerste Einschränkungen bei den theoretischen Gesamtverformungen und maximalen Krümmungen, um ein Aufgehen der Spundwandschlösser zu verhindern. Die Nachweise für die Grenzzustände werden in Tabelle 1 beschrieben. Für den Nachweis der Gebrauchsfähigkeit unter 1,1fach erhöhten Lasten wurde ein elastisch gebettetes System mit verschiedenen Bettungsmodulen angenommen.

Für das Trockendock wurde eine kombinierte Fangedamm-Lösung ausgewählt, um das Vorhalten von Spundwandprofilen für das Gesamtprojekt zu optimieren (Bild 1). Entlang den geraden Seiten wurde ein einfacher Fangedamm gewählt, ausgesteift mit Längsträgern IPB 240, die im Abstand von 6 m durch 60 Grad geneigte Stützen, die an einem IPH-320 Pfahl mit wandförmigem Pfahlkopf 100 × 100 × 50 cm elastisch gelagert waren [8]. Die Längswände waren durch Leiteinrichtungen entlang des Navigationsweges gegen Anprall geschützt (Bild 1).

Die hinteren beiden Ecken und der polygonale vordere Teil des Trockendocks, der die Schlitzwandbaugrube halbkreisförmig abschloß und gleichzeitig die Endposition des Einschwimmvorgangs bildete, wurden als Kastenfangedamm [8] ausgebildet. Dieser Kastenfangedamm hatte Multifunktionen:

- Sicherheit gegen Katastrophenfall-Anprall im Frontbereich mit hoher Energiedissipation durch die Sandfüllung

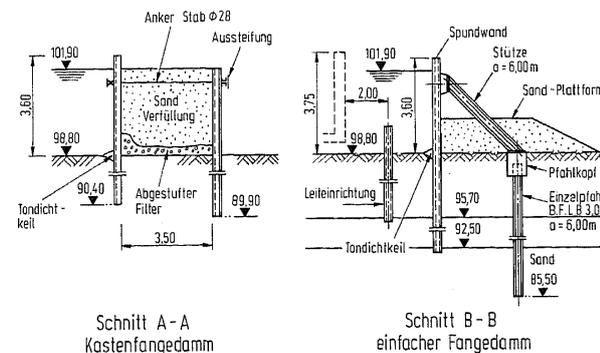
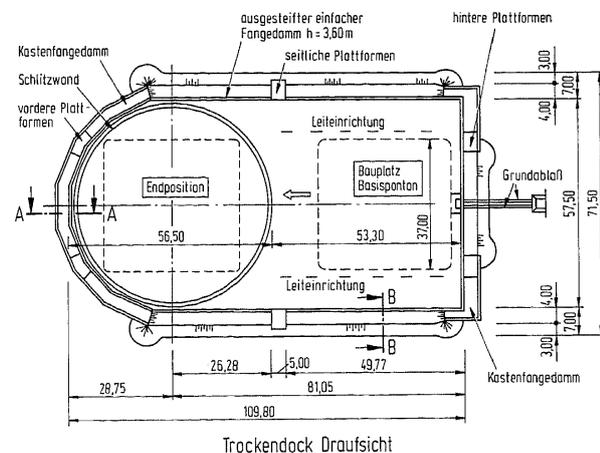


Bild 1. Trockendock
Fig. 1. Drydock

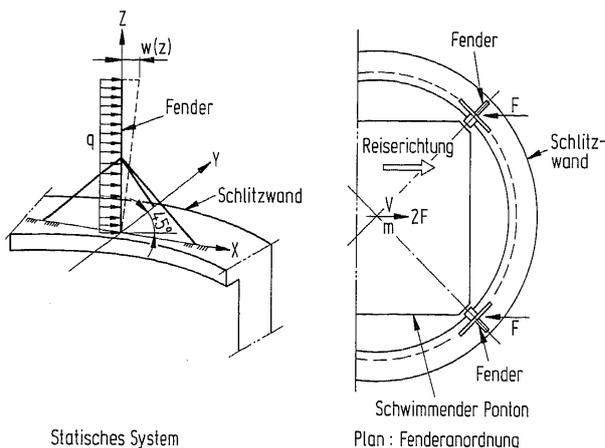
Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid, Design Manager, Fru-Con Construction Corporation St. Louis (U. S. A.), Tochtergesellschaft der Bilfinger + Berger Bau AG Mannheim. Auslandsbereich Wiesbaden, Postfach 1509, 6200 Wiesbaden 1

Tabelle 1. Bemessung des Trockendocks – statische Entwurfsnachweise
Table 1. Design of drydock

	Grenzzustand			Gebrauchszustand
A-Einfach ausgeleiteter Fangedamm	<p>Reales System:</p>	<p>Statisches System Spundwand und Abstützungssystem</p>	<p>Gleitkreisuntersuchung:</p>	<p>Lösung: $w(z) \leq 10\text{mm}$ $\phi(z) \leq 7,6\text{‰}$</p>
B-Kastenfangedamm	<p>Reales System:</p>	<p>Statisches System Luftseitige Spundwand:</p>	<p>Tiefe Gleitfuge</p>	<p>Standicherheit</p>
	<p>Pontonstoß Die Verformungsenergie des Kastendamms wurde abgeschätzt für die zu erwartende Stoptlast und der mitwirkenden Breite $\Delta \approx 4\text{m}$: Energiebetrachtung: $E_{kin} = E_{pot} \Rightarrow \frac{mv^2}{2} = 2(\Delta \cdot \int_{1/2}^0 q \cdot w(z) dz + \sum_{i=1}^n G_i \cdot \mu \cdot \frac{w_i - 1 + w_i}{2} \cdot \Delta)$ $w(z)$ = Verformung des Kofferdamms durch Wasserlast und Stoptlast verteilt auf Breite Δ q = Stoptlast per Seite als Flächenlast, m = Masse des Basispontons, v = zul. Geschwindigkeit</p>			<p>Lösung: $K_2 = \sum_{i=1}^2 G_i \cdot \mu(\phi)$</p>

lung unter Aufrechterhaltung der quasi Wasserdichtigkeit.

- Aussteifung der Ecken, in denen Zwängungen auftraten, da sonst die orthogonalen Wände im zwängungsfreien Zustand durch die Wasserlast orthogonale Verformungen erhalten hätten und aufgegangen wären.
- Natürliche Basis für die Plattformen der Verziehungseinrichtungen.



Statisches System

Energiebetrachtung: $E_{kin.} = E_{pot.}$
 Kinematische Stoßenergie des Basispontons: $E_{kin.} = m \frac{v^2}{2}$ Masse: 3500t
 Formänderungsenergie der beiden Fender: $E_{pot.} = 2(1/2 \int q(z) \cdot w(z) dz) = 2(1/2 \int EI \ddot{w}(z) dz) = \sum q(z) \cdot \frac{w_i + w_{i-1}}{2} \cdot \Delta$
 Zul. Anprallgeschwindigkeit: $v = \sqrt{\frac{2 \int q(z) \cdot w(z) dz}{m}} = \sqrt{\frac{w_i + w_{i-1}}{2} \cdot \Delta}$
 $\approx 0,43\text{m/min}$

Bild 2. Fendersystem und Bemessung
Fig. 2. Design of fender system

Folgende zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen wurden getroffen:

- Doppelspundbohlen als Leiteinrichtung im Abstand von 4 m entlang des Navigationsweges, um ein unbeabsichtigtes seitliches Abtrifften zu verhindern.
- Fender kennzeichneten an zwei Ecken die Endposition des Einschwimmvorgangs. Sie bestanden aus IPB-320-Stützen, die als einfaches Fachwerk nach drei Seiten hin ausgebildet und auf dem Ringbalken der Schlitzwand verankert waren. Die Anprallseite wurde mit einem verschallten Paket aus Kanthölzern $60 \times 40\text{ cm}$ abgepolstert und rot-weiß markiert (Bild 2). Diese beiden Fender [10] wurden für je eine Anpralllast von ca. 31 t ausgelegt, was einer Anprallgeschwindigkeit von ca. 0,5 m/min. entspricht.

Der Kastenfangedamm bildete eine weitere Sicherheit, um die Restenergie im Notfall abzufangen. Aufgrund der geplanten Verziehungseinrichtung wäre trotz Ausfall aller Stopeinrichtungen die Wahrscheinlichkeit eines Durchbrechens des Fenders äußerst gering gewesen.

Die Spundwände wurden durch die Schichten Nr. 1, Nr. 2 und Nr. 3 geschlagen (Bild 1 in [1]). Dadurch wurde das Innere des Trockendocks komplett versiegelt und alle Hauptprobleme der Umläufigkeit und Wasserdichtigkeit gelöst. Aufgrund der Forderungen, die Verformungsgrößen sehr gering zu halten, konnten die Maßnahmen einer Abdichtung der Spundwände relativ gering gehalten werden. Folgende Abdichtungsmaßnahmen wurden getroffen.

- Tondichtkeil entlang der Innenseite der Spundwand, um in der Sandschicht ein Durchsickern von Wasser durch die Schlösser der Spundwände zu verhindern. Das Trockendock war nach unten hin hermetisch durch die weiche Tonschicht unter dem Sand abgeriegelt [1, Bild 1].
- Die Schlösser der Spundwände über Gelände wurden mit einem dauerelastischen Mastix auf Zement-Bentonit-Basis gefüllt (die Schlösser waren kalt geformt und nicht gewalzt – große Toleranzen). Dann wurden die Oberflä-

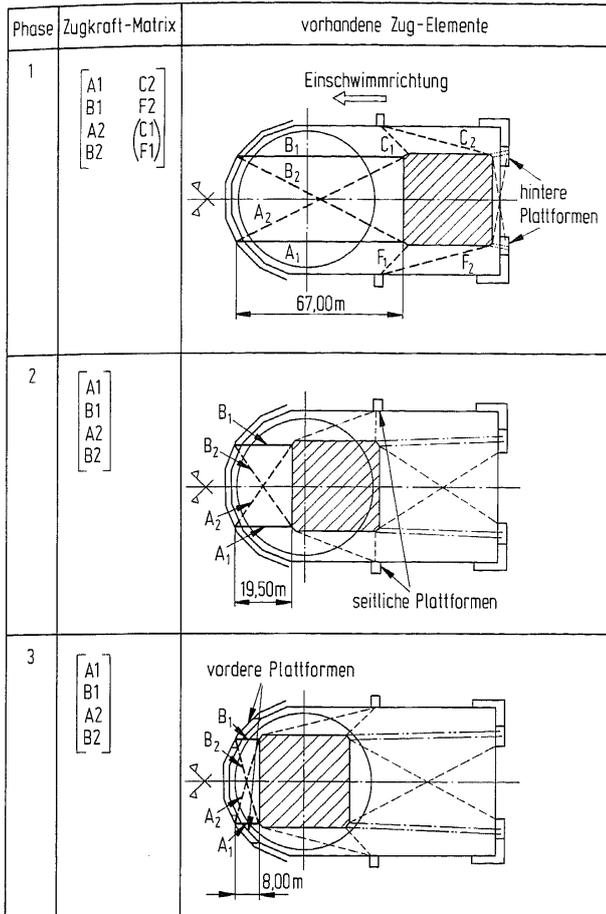


Bild 3. Matrix-Beschreibung der Zug-Elemente während verschiedener Phasen des Schwimmvorgangs

Fig. 3. Matrix indication for pulling elements during various stages of the towing operation

chen mit einem faserverstärkten Bitumenmastix versiegelt.

- Alle Spundwandstöße, die nicht im Schloß geführt werden konnten, wurden oberhalb des Geländes und einer Einbindtiefe von ca. 75 cm in den Boden mit einer Paßplatte dichtgeschweißt. Der Bereich im Boden wurde an der Innenseite mit einer Bentonit-Zementinjektion gedichtet.
- Zusätzlich wurden entlang des einfachen Fangedamms an der Außenseite Vakuumlanzen eingespült, um im Falle kleinerer Undichtigkeiten das Wasser abzusaugen und somit einer Dammerosion vorzubeugen.
- Während der ersten Probefüllung ergaben sich einige kleine Undichtigkeiten im Bereich der Schlässe. Diese wurden teilweise durch Einrieseln von Sägemehl in die Schlässe geschlossen.

2.2 Füllen des Trockendocks

Das Trockendock wurde 3,50 m hoch mit Wasser gefüllt. Insgesamt waren 17 000 m³ Wasser notwendig, die mit einer Dredgerpumpe, die auch zum Unterwasseraushub benutzt wurde, aus dem nahegelegenen See entnommen wurden. Die Leistung betrug 750 m³/h; die Füllung dauerte ca. 22 Stunden. Zur Dichtigkeitsprüfung wurde das Trockendock zuerst nur teilweise gefüllt; nachdem dies befriedigend verlief, erfolgte die vollständige Füllung.

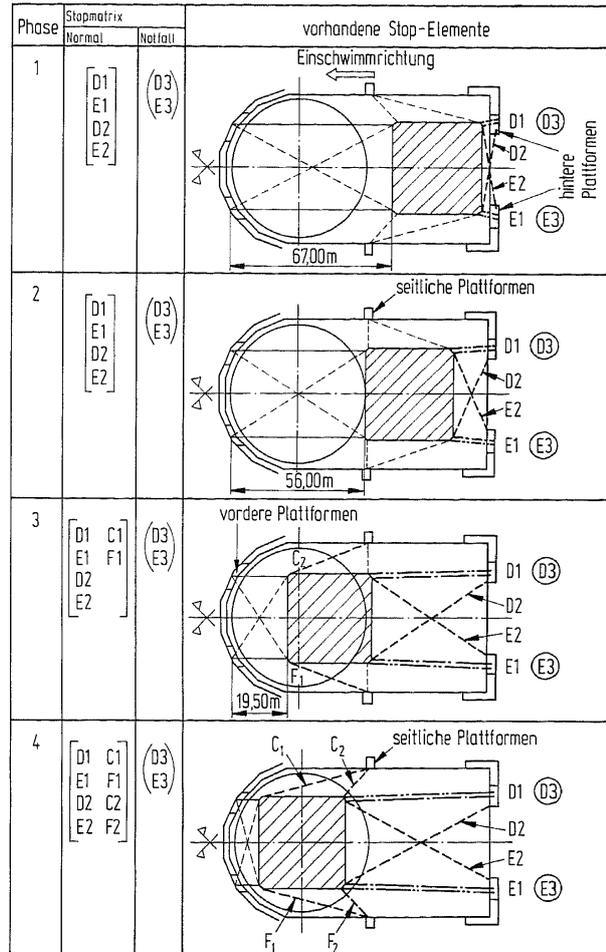


Bild 4. Matrix-Beschreibung der Stopp-Elemente während verschiedener Phasen des Schwimmvorgangs

Fig. 4. Matrix indication for stopping elements during various stages of the towing operation

Während des Füllvorgangs wurden die Fangedämme permanent auf Undichtigkeit hin überprüft. Das System zeigte sich absolut zuverlässig, die Auslegung des Systems – gemäß den zuvor geschilderten Maßnahmen – als ausreichend und optimal.

Das Wasser wurde auf eine ausreichend bemessene Betonprallplatte geleitet, um die Fließgeschwindigkeit zu verringern sowie ein Aufspülen von Sand und Kies zu verhindern. Ferner wurden kleine Filterdämme zwischen Basisponton und Trockendock errichtet, um Schwemmaterial, besonders in der ersten Füllphase, zurückzuhalten, welches eventuell in die Baugrube mit dem vorbereiteten Fundamentbett hätte gespült werden können. Das Trockendock hatte am hinteren Ende zwei Grundausslässe, Durchmesser 50 cm, mit denen die Wassermassen in ca. 5,5 Stunden entleert werden konnten.

3 Beschreibung des Einschwimmsystems

Das Verziehungssystem wurde aus rein statischen Grundüberlegungen entworfen. Zum Verziehen war ein System, bestehend aus direkten Zug- und Stopseilen, parallel zur Schwimmrichtung notwendig, zusätzlich war zum Steuern und Stabilisieren gegen seitliches Abdriften durch Wind ein Stabilisations- und Steuerseilsystem notwendig (Bild 3 und 4). Zu diesem Zweck wurden hinten und vorne (in Zugrichtung) Diagonalseile benutzt.

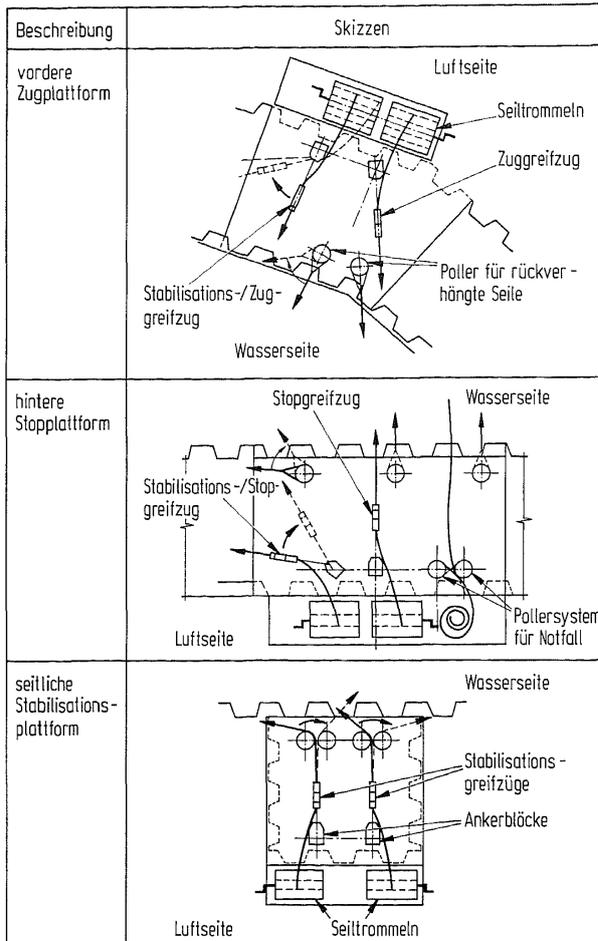


Bild 5. Darstellung der verschiedenen Plattformen
Fig. 5. Towing platforms

Seitlich des Navigationsweges wurde zusätzlich beidseitig eine Mittelplattform errichtet, von der aus jeweils zwei einfache Seile zur seitlichen vorderen bzw. hinteren Ecke des Basispontons geführt wurden. Dies war notwendig, da während des Verziehens die hinteren Diagonalseile flache Winkel mit geringer Stabilisierungseffektivität im Endzustand annahmen, die vorderen verhielten sich umgekehrt. Dadurch waren alle Ecken durch ein Seilfachwerkssystem mit veränderlicher Geometrie während der Operation verspannt.

Die Stabilisationsseile hatten zudem folgende Multifunktion (Bild 3 und 4):

- Frontdiagonalseile: Stabilisieren und Ziehen
- Hintere Diagonalseile: Stabilisieren und Stoppen
- Seitliche Seile: Stabilisieren und Ziehen in der Startphase/Stoppen in der Endphase.

Alle vorderen und hinteren Seile, Stopp-, Zug- und Diagonalseile, wurden über Umlenkrollen, die an den Ecken des Basispontons an Ankerblöcken verhängt waren, doppelgeführt, um die Zugkräfte an den Schwerlastgreifzügen zu verdoppeln. Die Seile der Mittelplattformen wurden einfach geführt (Bild 5 und 6). In jeder Phase war das System optimal manövrierbar, sogar bis zu einer Front- bzw. Seitenwindgeschwindigkeit von 25 m/s.

Die Plattformen bestanden aus Stahlbetonplatten, die an den hinteren Spundwänden des Kastendamms verankert waren. In den Plattformen wurden die Poller, betongefüllte

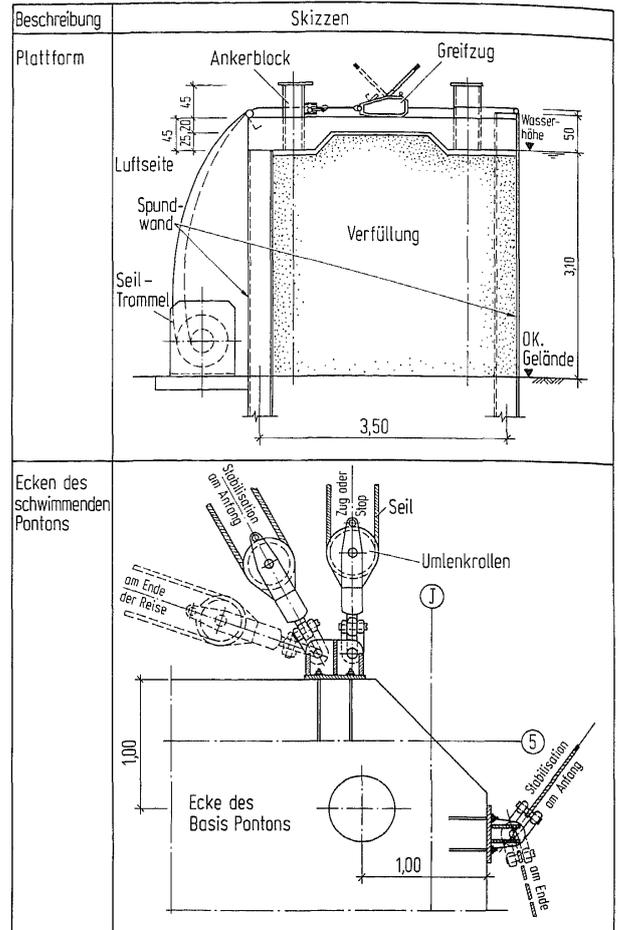


Bild 6. Verankerung der Zugeinrichtung an der Plattform und Verhängung der Seile am Basisponton

Fig. 6. Anchorage of the towing equipment at platform and basic pontoon

Rohre, mit 400 mm Durchmesser und Verankerungsblöcke, IPB-300 mit Augenlaschen [4], zum Verhängen der Zugeinrichtung verankert.

An den hinteren Plattformen wurde für den Notfall (Ausfall aller Stopfseile) ein Pollersystem mit doppelgeführten Seilen, die an den hinteren Ecken des Basispontons mittels

Tabelle 2. Verziehergeräte und zulässige Lasten

Table 2. Towing equipment and permissible load range

Standort	Gerät	zul. Arbeitslast (t)	Sicherheit γ	Bemerkung
Plattformen	Schwerlastgreifzüge	4	2,5	
	Schäkel (zum Verankern der Greifzüge an den Verankerungsblöcken)	4	2,5	
	Seilschlingen	4	4	
	Verankerungsblöcke	4	2,5	
	Rückverhängungspoller	4	2,5	
	Pollersystem	4	2,5	
Basisponton	aufklappbare Umlenkrollen	8	2,5	wegen doppelt geführter Seile
	Schäkel	8	2,5	
	Lagerblöcke (abhängig von der Anzahl der Seile)	2 · 8	2,5	
	Seile ϕ 16 7 Litzen, pro 31 Drähte	4	4	

Tabelle 3. Auswahl der Zuggeräte
Table 3. Selection of towing equipment

Nr.	Geräte	Auswahlkriterien	Bewertung
1	Handwinden	Geschwindigkeit: langsam	++
		Systemsteuerung: Abstimmung einfach Bedienung + Bremse + Kurbel Abmessungen: 0,90 × 1,00 × 1,20 m 1 t	++ --
		Kapazität: 3 t	+
		Preis: mittel	+
			5+
2	Elek. Winden	Geschwindigkeit: Variabel	++
		Systemsteuerung: Abstimmung aufwendig, Notabschaltung einfach	-- ++
		Bedienung + Abmessungen: 1,80 × 1,80 × 1,20 m 1,5 t	++
		Kapazität: 3-5 t	++
		Preis: hoch	--
			4+
3	Hydraulik-Winden	Geschwindigkeit: variabel	++
		Systemsteuerung: Abstimmung aufwendig, Notabschaltung einfach	-- ++
		Bedienung + Abmessungen: 1,80 × 1,80 × 1,20 m 1,5 t	++
		Kapazität: 3-5 t	++
		Preis: mittel	+
			6+
4	Schwerlast-greifzüge	Geschwindigkeit: langsam	++
		Systemsteuerung: einfach Bedienung + Abmessungen: Trommel separat 70 × 20 × 40 cm 30 kg	++ ++
		Kapazität: 3 t	++
		Preis: niedrig	++
			10+

Umlenkrollen an Ankerblöcken (Bild 6) befestigt waren, rückverhängt.

Die verwendeten Geräte und zulässigen Arbeitslasten sind in Tabelle 2 aufgeführt. Als Zuggerät (Tabelle 3) wurden Schwerlastgreifzüge ausgewählt, deren Gebrauch der Mannschaft vertraut war, die sich als äußerst robust und zuverlässig erwiesen hatten und lokal erhältlich sowie den Besonderheiten der Auslandsbaustelle gerecht waren.

4 Bemessung des Systems

Die Bemessung des Systems wurde für die drei kinematischen Zustände [6]: Starten, Fahren und Stoppen (Tabelle 4) unter Berücksichtigung des Windes ausgelegt. Die Bemessungsgeschwindigkeit wurde wie folgt festgelegt:

- Windgeschwindigkeit:
u = 25 m/s – 90% Unterschreitungswahrscheinlichkeit,
- Schwimmgeschwindigkeit:
v = 0,5 – 2,0 m/min. – aus Versuchen mit Greifzügen unter Last.

Die verschiedenen hydrodynamischen und winddynamischen Kräfteanteile wurden in der ungünstigsten Wirkung gemäß Tabelle 5 ermittelt. Der Windeinfluß war wie zu erwarten dominierend; einen „Segeleffekt“ bildete die dichte vertikale Anschlußbewehrung. Anhand dieser Daten wurden dann Bemessungskurven für die Phasen: konstante Geschwindigkeit, Beschleunigung und Abstoppen ermittelt. Für die Phase der konstanten Geschwindigkeit wurde in Tabelle 6 die Beziehung zwischen erforderlicher Zugkraft

Tabelle 4. Entwurfsplanung des Systems
Table 4. Design of towing system

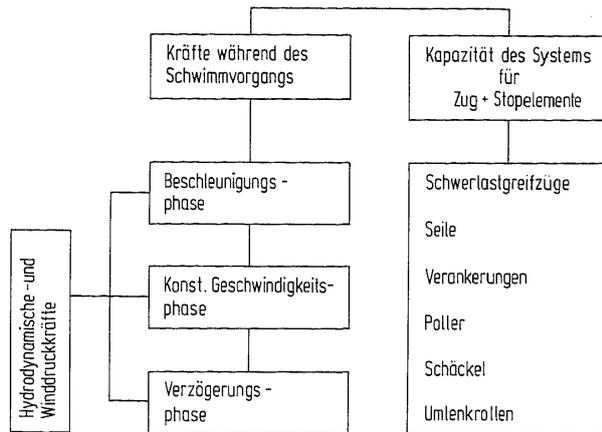


Tabelle 5. Auswertung der Widerstandskräfte
Table 5. Towing resistance forces

Kraftarten	Skizzen	Formeln
Windwiderstand		$W_{Wind} = \sum q_i \cdot A_i \text{ (kN)}$ $q = \frac{1}{2} \cdot \rho_{Luft} \cdot U^2 \text{ (KN/m}^2\text{)}$
Strömungswiderstand		$W_{Wasser} = C \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \text{ (kN)}$
Impulskraft		$q \cdot \Delta h \cdot V_1 + P_1 = W_{Impuls} + q \cdot \Delta h \cdot V_2 + P_2$ $W_{Impuls} = f(V_1 - V_2) = f(\Delta h) \text{ (kN)}$ für $\Delta h \rightarrow 0 \text{ H} \rightarrow 0$ (Impuls kann vernachlässigt werden)
Reibungswiderstand		$W_{Reib} = \sum \eta \cdot A \cdot v \cdot \omega_i \text{ (kN)}$

und Windgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der maximalen Schwimmgeschwindigkeit aufgestellt.

Für die Stopphase wurden bestimmte Stoppwege untersucht. Die negative Beschleunigung und die Newtonschen Kräfte $F = m \cdot a$ wurden ermittelt (Tabelle 7). Diese Kräfte wurden mit den Kräften verschiedener Windgeschwindigkeiten in ungünstigster Richtung als Parameter überlagert. Ziel war es, den Basisponton quasi in die Stopphase laufen zu lassen und das elastische Formänderungsenergievermögen der Seile zu nutzen. Die elastische Antwort der Seile wurde

Tabelle 6. Bemessungs-Kraftdiagramme
Table 6. Design charts for towing equipment

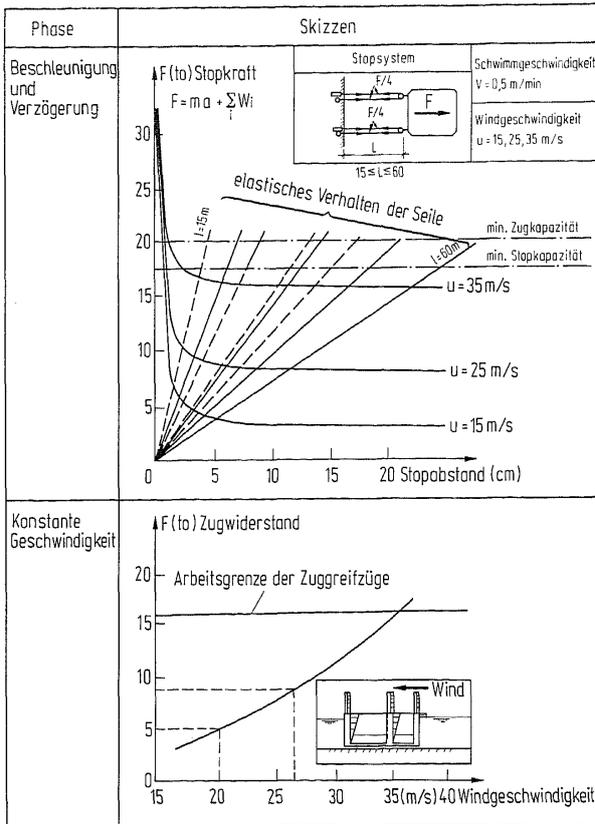
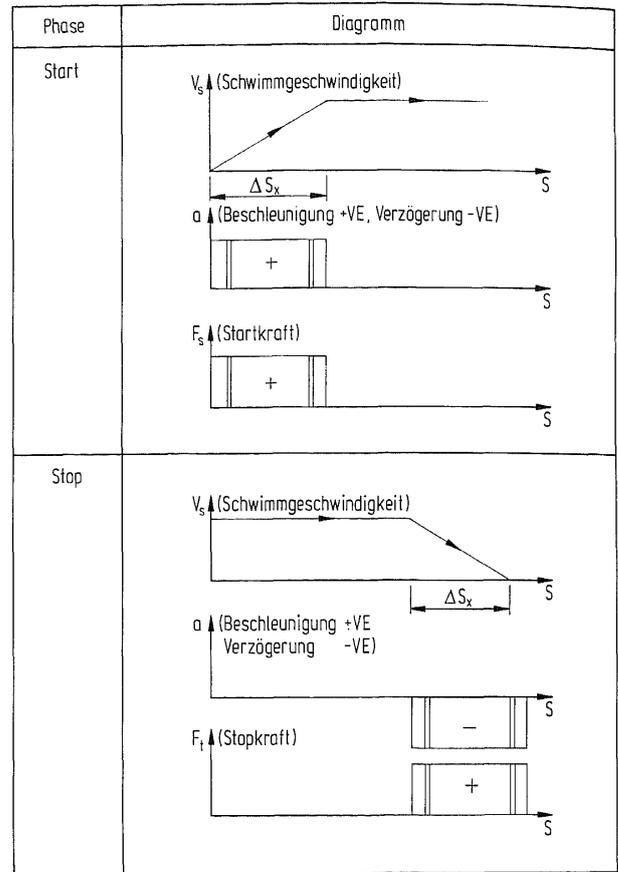


Tabelle 7. Kraft-Geschwindigkeit-Beschleunigungs-Verzögerungs-Beziehung ohne Berücksichtigung anderer Effekte
Table 7. Force-velocity-acceleration and deceleration dependence without considering other effects



unter Berücksichtigung des Durchhangs [5] ermittelt. Kurventafeln für relevante Schwimmgeschwindigkeiten ($0,25 < v < 2 \text{ m/s}$) unter Berücksichtigung von drei verschiedenen Windgeschwindigkeiten (Tabelle 6) als Parameter wurden ermittelt.

Die Abbremsphase mit max. $v = 2 \text{ m/min}$. bestimmte die zulässige max. Windgeschwindigkeit von 25 m/s , bei der noch die Operation mit allen Systemen im zulässigen Bereich durchgeführt werden konnte.

Anhand dieser Daten wurden alle Komponenten des Gesamtsystems bemessen. In Tabelle 8 ist die vorhandene Zug- und Stoppkapazität des Systems während der Fahrt vom Bauplatz zum Absenktziel wiedergegeben. In der Startphase wurden hohe Anzugskräfte mobilisiert, die zur Endphase hin abnahmen. Die Stoppkräfte hingegen wuchsen progressiv zur Endposition hin an, um das System auch unter plötzlich aufkommendem starkem Wind einwandfrei zum Stoppen bringen zu können. Die Kommandoanweisungen für die beteiligten Systeme (Tabelle 8) sind in Matrixform in Bild 3 und 4 wiedergegeben.

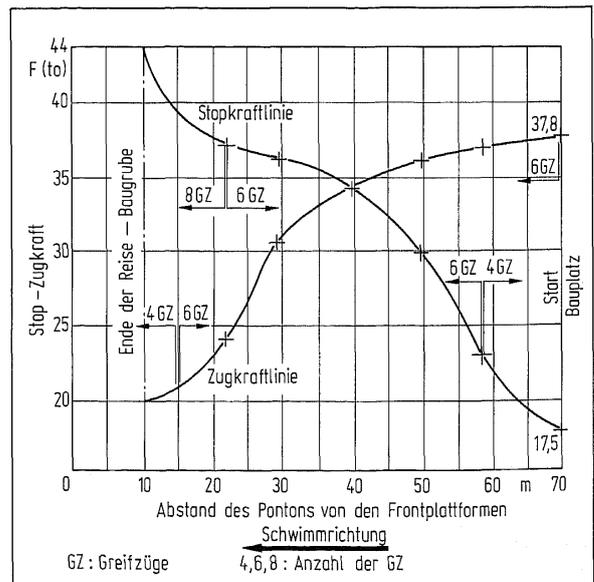
5 Einschwimmvorgang

Nachdem alle Geräte installiert waren, wurden alle Komponenten und Systeme nach einer aufgestellten Checkliste überprüft und betriebsbereit gemacht.

Die Operation wurde von einem Korb heraus, der am Auslegerarm des seitlich ausgefahrenen Turmdrehkrans hing, geleitet. Von dort konnten alle Seile und Systeme klar eingesehen werden, und Kommandos konnten an die einzelnen Einrichtungen per Funk gegeben werden. Alle Zugsy-

Tabelle 8. Kapazität des Systems für Zug- und Stoppkräfte in Abhängigkeit von der Endposition

Table 8. Stopping and pulling capacity of towing equipment being dependent on the floating position



steme waren alpha-numerisch gekennzeichnet bzw. auf den Plattformen aufgemalt (Bild 3 und 4 – Matrixkennzeichnung).

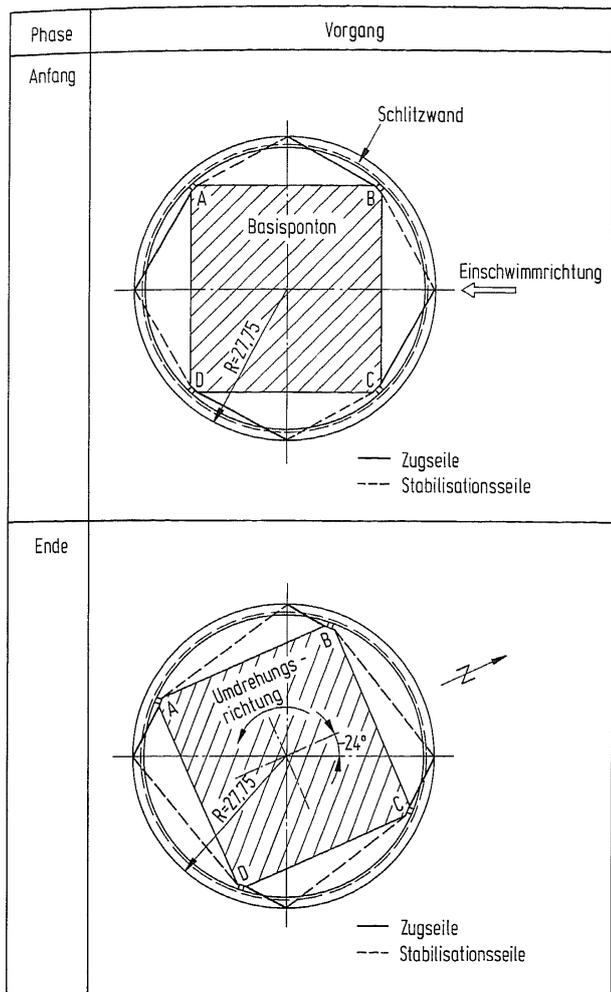


Bild 7. Rotation des schwimmenden Basispontons innerhalb der Schlitzwandbaugrube

Fig. 7. Basic pontoon rotation of the floating box caisson within the flooded diaphragm wall

Der Start begann mit dem Nachlassen der hinteren Seilsysteme mittels ca. zehn Ratschenzügen. Als nächstes wurde im Takt von ein bis zwei Ratschenzügen pro 5 Sekunden an allen Systemen gleichzeitig (Diagonalen 25–40% schneller) gezogen. Nach ca. 5 m Fahrt wurde ein Test – Stoppen eingeleitet, um die analytischen Annahmen zu überprüfen. Die Ergebnisse waren zufriedenstellend genau. Die Windgeschwindigkeit war im Durchschnitt 5 m/s.

Bedingt durch die anfänglich hohe Anzugskraft, die im weiteren Verlauf des Geschehens zugunsten der Stoppkraft nicht linear durch die veränderte Geometrie des statischen Systems abnahm (Tabelle 8), wurde eine Geschwindigkeit von ca. 1,3 m/min. erreicht, die dann im zweiten Drittel auf 0,8 m/min. und im letzten Drittel auf 0,5 m/min. zurückging. In der Endphase betrug die Schwimmgeschwindigkeit 0,3 m/min.

Aufgrund der theoretischen Voruntersuchungen und der exakten Bestätigung durch die Funktionsprüfung wurde das Stoppen ca. 1 m vor dem Endziel eingeleitet:

- 1,00–0,5 m: Nachführen der Stoppseile,
- 0,5 –0,25 m: Zug- und Stoppseile mit gleichen Ratschenschlägen führen,

Tabelle 9. Hauptdaten

Table 9. Main data

Wasserverdrängung des Basispontons	3500 t
Abmessungen	37,00 × 36,45 m
Höhe	3,35 m
Eintauchtiefe	2,78 m
Freibord	0,56 m
Schiefstellung	13,00 cm
Spundwände	5400 m ²
Umfang des Trockendocks	310 m
Wassermenge im Trockendock	17000 m ³
Wasserhöhe	3,60 m
Füllzeit	22 h
Entleerungszeit	5,5 h
Einschwimmzeit	2,5 h
Kommando: Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid	
Bauleiter: Dipl.-Ing. Rainer Stamm	

- 0,25–0,13 m: Basisponton in die Stoppseile laufen lassen. Das System kam innerhalb von 12 cm zum Stehen wie vorher geschwindigkeitsabhängig ermittelt wurde.

Die Operation wurde wie folgt überprüft:

- Elektronische Entfernungsmessung,
- Schwimmhöhe,
- seitliches Abdriften,
- Geschwindigkeitsmessung durch aufeinanderfolgende Entfernung- und Zeitmessungen,
- Windrichtung/Windgeschwindigkeit,
- Vergleich der Messungen mit den Sollwerten,
- visuelle Kontrolle aller Seilsysteme auf gleiche Spannkraft.

Diese Informationen wurden vom Kommandanten im Fahrkorb koordiniert und in Befehle für die einzelnen Zugsysteme umgesetzt. Die Operation dauerte ca. 2,5 Stunden und verlief wie analytisch vorgeplant.

Im Anschluß an die Operation wurde das Wasser durch einen Grundablaß abgeleitet, der Basisponton sank in die Schlitzwandbaugrube. Der Basisponton wurde dann innerhalb der Schlitzwand in die richtige Lageposition für den weiteren Bau gedreht (Bild 7). In Tabelle 9 sind die Hauptdaten zusammengestellt. In dieser schwimmenden Position wurden anschließend die weiteren Bauabschnitte ausgeführt, bis der Senkkasten durch immer tieferes Einsinken ins Wasser die Endposition erreichte.

Literatur:

- [1] Girmscheid, G.: Schwimmend hergestellte Pumpstation: Entwurfsauswahl und Entwurfsplanung. Bautechnik 68 (1991), H. 4, S. 118–128.
- [2] Girmscheid, G., und Stamm, R.: Schwimmend hergestellte Pumpstation: Bauausführung. Bautechnik 68 (1991), H. 7.
- [3] Hoesch Stahl AG: Spundwand – Handbuch, Berechnung. Dortmund: Hoesch Firmenveröffentlichung 1987.
- [4] Petersen, C.: Stahlbau. Braunschweig: Vieweg Verlag 1988.
- [5] Girmscheid, G.: Entwicklungstendenzen und Konstruktionselemente von Schrägseilbrücken. Bautechnik 64 (1987), H. 8, S. 256–267.
- [6] Kuchling, H.: Physik, Formeln und Gesetze. Köln: Buch und Zeit Verlag 1969.
- [7] Lindenburg, M.: Civil Engineering Reference Manual. San Carlos (USA) PE: Professional Publications 1986.
- [8] Navfac: Foundations & Earth Structures. Design Manual 7.02. Alexandria (USA): Naval Facilities Engineering Command 1972.
- [9] USS-steel: Sheet Piling Design Manual. Aduss (USA). US-Steel Corporation, Publications 1972.
- [10] EAU 1986: Recommendations of the Committee for Waterfront Structures. Berlin: Ernst & Sohn Verlag 1986.