

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Nußbaumer, Manfred

Bewältigung von geotechnischen Problemen beim Bau des Hafens Bandar Shahpour, Iran

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105353>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Nußbaumer, Manfred (2009): Bewältigung von geotechnischen Problemen beim Bau des Hafens Bandar Shahpour, Iran. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Aktueller Stand und Herausforderungen der Geotechnik im Verkehrswasserbau. S. 105-119.

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.



Bewältigung von geotechnischen Problemen beim Bau des Hafens Bandar Shahpour, Iran

Prof. Dr.-Ing. E. h. Manfred Nußbaumer, M. Sc.

Die Ed. Züblin AG arbeitete im Jahr 1975 auf Baustellen in Indonesien, in Malaysia und im Irak. Ende des Jahres 1974 erhielt sie einen Großauftrag im Iran in Arbeitsgemeinschaft mit dem niederländischen Unternehmen „Royal Adrian Volker Group“, und zwar den Bau einer rd. 2,5 km langen Anlegeplattform für Seeschiffe im bereits bestehenden Hafen Bandar Shahpour.

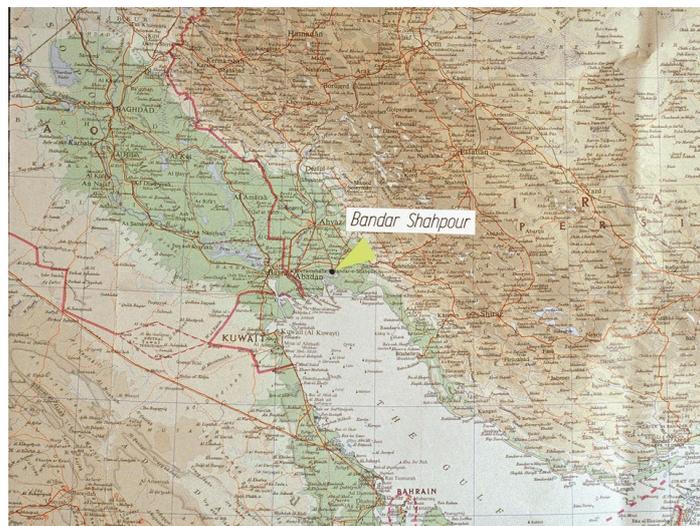


Bild 1: Lage von Bandar Shahpour

Bandar Shahpour war zu dieser Zeit ein kleiner Ort, der im Zweiten Weltkrieg von den Briten als Hafen ausgebaut wurde, um Transporte vom Golf nach Norden in den Süden der Sowjetunion zu ermöglichen. 1975 war der Hafen mit einigen wenigen Anlegestellen für große Seeschiffe weit überfordert. Schiffe hatten Liegezeiten von bis zu mehreren Wochen, um entladen zu werden. Obwohl ca. 800 km von Teheran entfernt, war Bandar Shahpour damals der wichtigste Seehafen Irans. Über ihn wurden vor allem industrielle Güter aller Art, Fahrzeuge, Schafe und Militärgüter importiert.

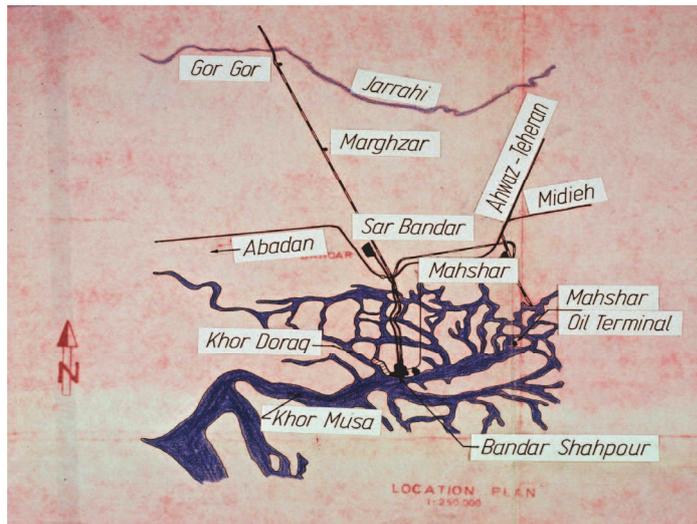


Bild 2: Lage von Bandar Shahpour

Der Hafen Bandar Shahpour liegt am Ende eines großen Priels, dem Khor Musa, das sich in Bandar Shahpour in mehrere Khors verzweigt, so auch in ein weiteres großes Priel, den Khor Doraq.



Bild 3: Lage der Hafenerweiterung

Die Anlegeplattformen waren parallel zum Khor Doraq zu bauen. Im Anschluss an den bestehenden Hafen hatte die französische Firma Dumez bereits einen Auftrag zum Bau von 10 Anlegeplattformen. Die Arge Züblin / Volker erhielt den Auftrag über 14 weitere Anlegeplattformen mit einem Auftragsvolumen in Höhe von 350 Mio. DM. Das entspräche heute einem Auftragsvolumen von ca. 0,5 Mrd. EURO.

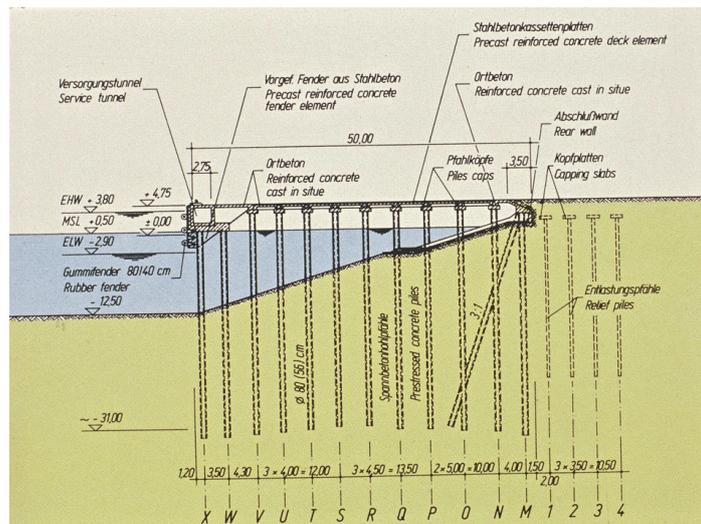


Bild 4: Schnitt durch zu errichtende Anlageplattform

Der Entwurf kam vom Ingenieurbüro Kampsax, Kopenhagen. Die Anlageplattform war entworfen für 13 m Wassertiefe ab Mittelwasser, war 50 m breit und schloss nahtlos auf der gesamten Länge an das Hinterland, das zur Lagerung von Umschlagsgütern genutzt werden sollte, an.

Die Plattform stand auf 12 Pfahlreihen, bestehend aus ca. 35 m langen Spannbetonhohlpfählen mit einem Außendurchmesser von 800 mm und 120 mm Wanddicke.



Bild 5: Spannbetonhohlpfahlherstellung

Die Pfähle erhielten Pfahlkopflattens, auf denen Fertigteilplatten mit max. 5,0 x 5,0 m verlegt und dann mit Ort beton zu einer zusammenwirkenden Tragkonstruktion verbunden wurden. Wasserseitig verläuft ein begehbare Versorgungstunnel, der biegesteif mit einem Fender element verbunden ist. Auch dazu wurden Fertigteile verwendet.

Landseitig wird die Anlageplattform von einer Abschlusswand, die etwa 3 m in das Erdreich einbindet, begrenzt. Um die hohen Verkehrslasten unmittelbar neben der Plattform aufzunehmen, verlaufen mit einem gegenseitigen Abstand von 3,5 m 4 Reihen Entlastungspfähle mit lose aufgelegten Stahlbeton-Pfahlkopfplatten landseitig der Anlageplattform.

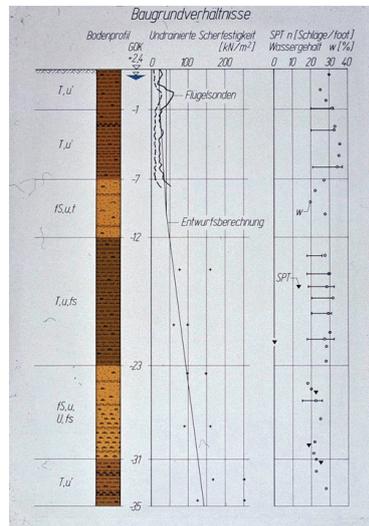


Bild 6: Baugrundverhältnisse

Der Baugrund in der Region Bandar Shahpour besteht aus jungen Sedimenten, die der großen Deltaregion des Schatt al-Arab zuzurechnen sind. Bis nahe zu 30 m Tiefe stehen feinsandige Tone und Schluffe sowie bindige Feinsande an. Die undrainierte Scherfestigkeit dieser Schichten beträgt bis zu 7 m Tiefe 20 kN/m² und nimmt etwa linear bis zur Tonschicht auf Kote -23 auf rd. 90 kN/m² zu. SPT-Werte lassen sich erst unter diesem Horizont bestimmen, sie betragen dort rd. 20 Schläge / 30 cm Eindringung.

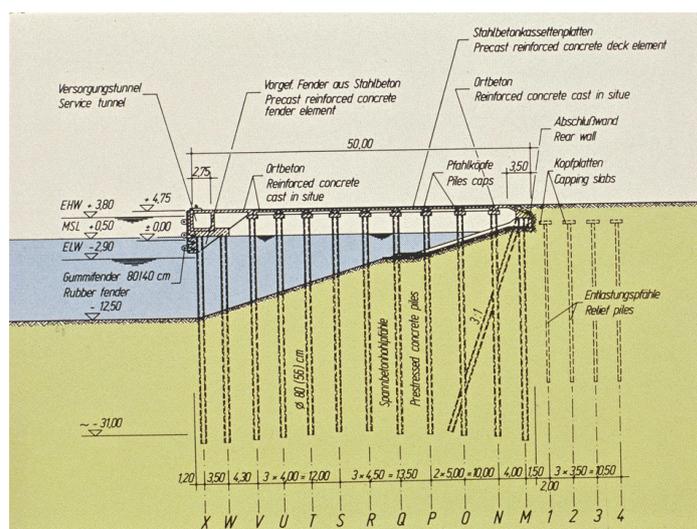


Bild 7: Geplanter Bauablauf

Der Bauablauf wurde anhand der Ausschreibungsunterlagen und entsprechend der verfügbaren Geräte ursprünglich wie folgt geplant:

- Zunächst Aufbringung einer 2 m mächtigen und 30 m breiten Vorbelastung bis Kote +5,00 im Bereich der Entlastungspfähle und landeinwärts
- Einrammen der 4 Reihen Entlastungspfähle mit 26 m Länge und einem Querschnitt von 45 x 45 cm im Abstand von 3,5 x 3,5 m, Aufbringen der Pfahlkopfplatten und der Erdüberschüttung in Höhe von $\pm 4,75$
- Herstellung der Unterwasser-Böschung durch Nassbaggerung
- Wasserseitig Einrammen der 8 Pfahlreihen mit einem gegenseitigen Abstand von 3,5 bis 4,5 m von schwimmendem Gerät aus
- Einrammen der landseitig liegenden 4 Pfahlreihen, die erste Reihe von Land aus, die drei weiteren Reihen von einer Rammbrücke aus



Bild 8: Pfahlrammung

- Einrammen der landseitigen Pfahlreihe mit Vertikal- und Schrägpfählen von Land aus
- Herstellen der Fahrschienen für die Rammung von der Rammbrücke aus und Einrammen der drei verbleibenden Pfahlreihen

Im Februar 1975 übergab mir der zuständige Auslandsdirektor Projektunterlagen mit dem Auftrag zu untersuchen, welche Probleme entstehen können und welche eventuell durch die Umstellung der Bauprozesse eintreten können.

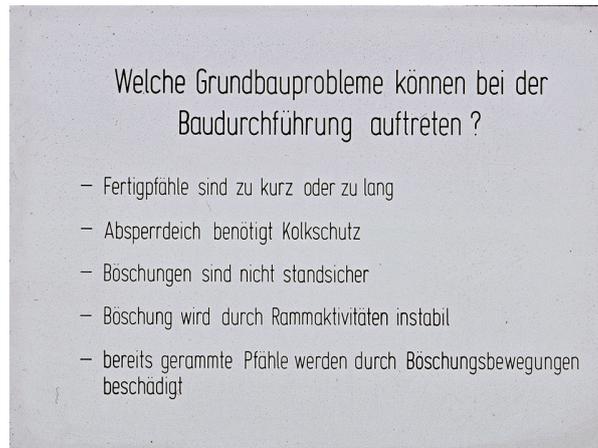


Bild 9: Welche Grundbauprobleme können auftreten?

Das Ergebnis meiner Untersuchung war aus geotechnischer Sicht wie folgt:

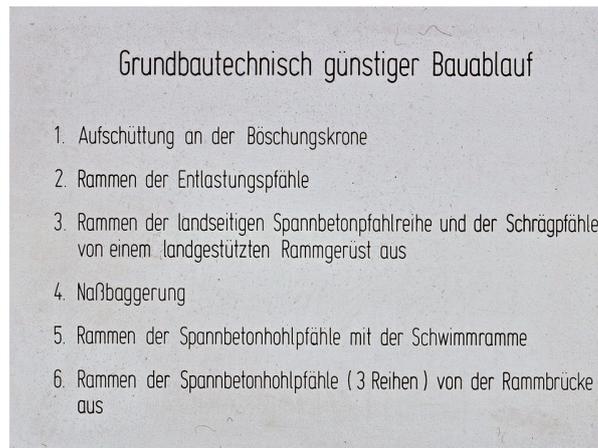


Bild 10: Grundbautechnischer günstiger Bauablauf

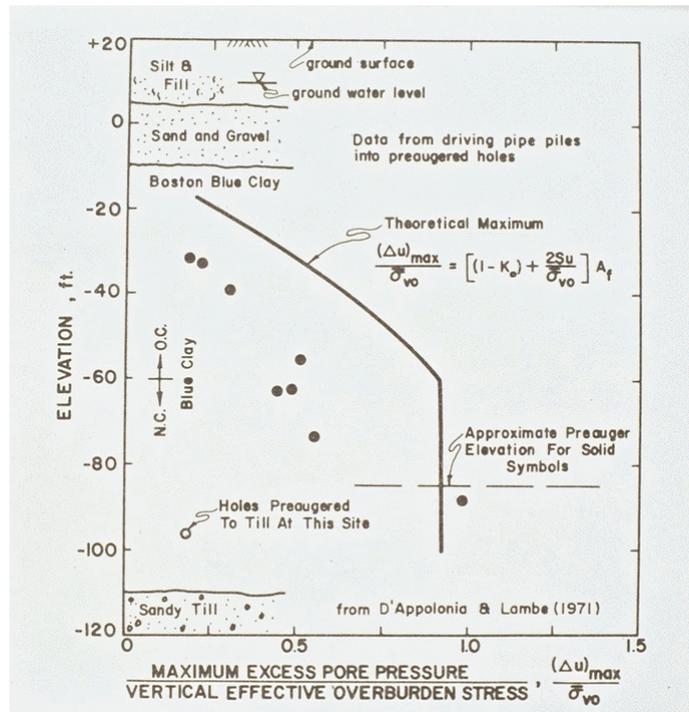


Bild 11: Porenwasserdruckanstieg infolge Rammung nach D'Appalonia / Lumbe (1971)

Um den Einfluss der Rammung abzuschätzen, wurden Porenwasserdruck-Messungen aus einer Veröffentlichung von D'Appalonia und Lambe aus dem Jahr 1971 in die Gleitkreisuntersuchungen mit einbezogen.

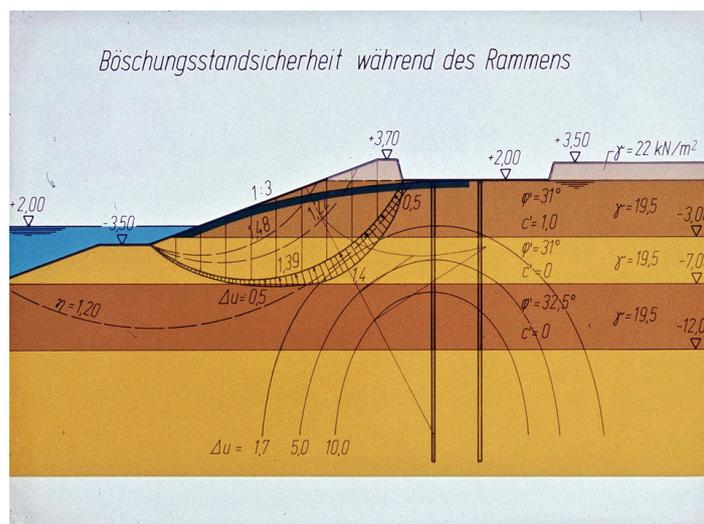


Bild 12: Standsicherheit ermittelt unter Betrachtung der effektiven Spannungen und effektiven Scherfestigkeiten und Berücksichtigung von Porenwasserüberdrücken aus Rammung

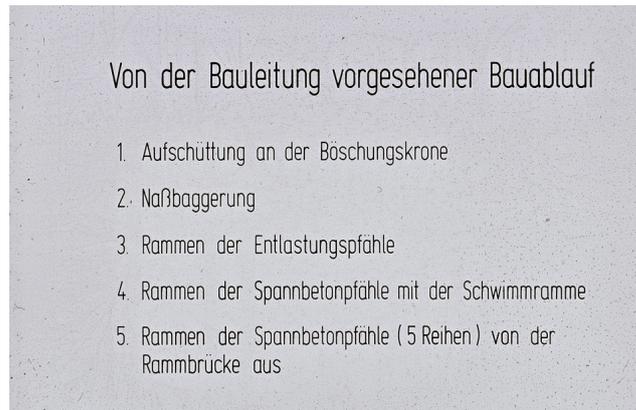


Bild 13: Von der Bauleitung vorgesehener Bauablauf

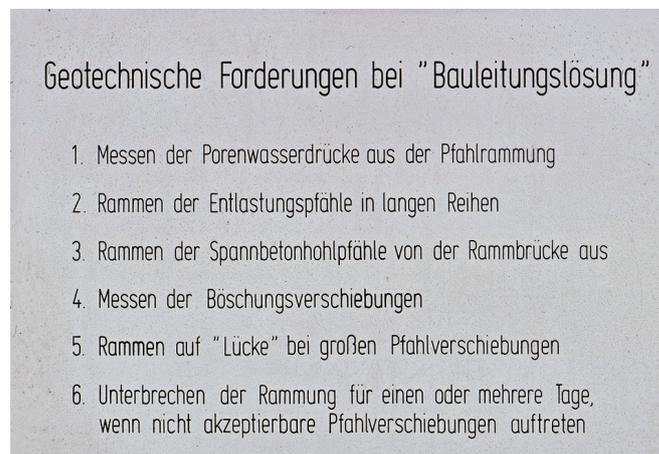


Bild 14: Forderungen aus geotechnischer Sicht an Bauleitungslösung

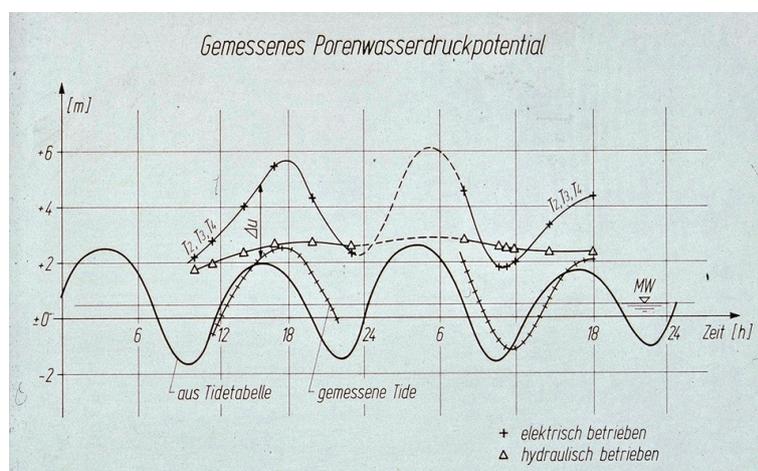


Bild 15: Tidehöhen und gemessene Porenwasserdrücke infolge Tide

Erste Rammarbeiten an
Entlastungspfählen
verursachen einen großen
Böschungsbruch

Bild 16: Erste Rammarbeiten an Entlastungspfählen

Etwa eine Woche vor Beginn der Rammarbeiten für die Entlastungspfähle kam von der Baustelle ein Telex mit der Mitteilung, dass die Rammarbeiten beginnen werden und dass alle 4 Pfahlreihen gleichzeitig gerammt werden würden. Mit einem Rücktelex wurde der Baustelle mitgeteilt, dass die Böschung bei dieser Verfahrensweise nicht stabil bleiben wird und ein Böschungsbruch zu erwarten sei.

Die Baustelle hat trotzdem die 4 Pfahlreihen gleichzeitig gerammt. Nach weniger als einer Woche brach die Böschung und nahezu alle Pfähle brachen wie Streichhölzer mit der abgehenden Böschung.



Bild 17: Abgerutschte Böschung

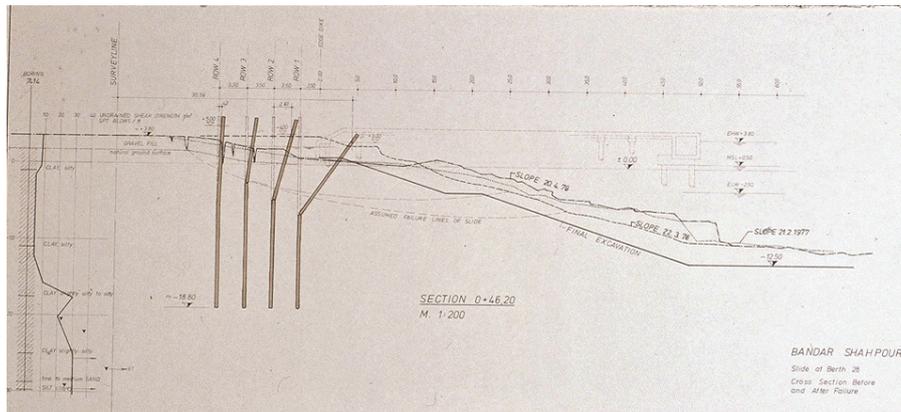


Bild 18: Aufmass der abgerutschten Böschung

Obwohl die Ursache der hohe Porenwasserüberdruck infolge der konzentrierten Pfahlrammung war, wurden weitere mögliche Ursachen in Bild 19 zusammengestellt.

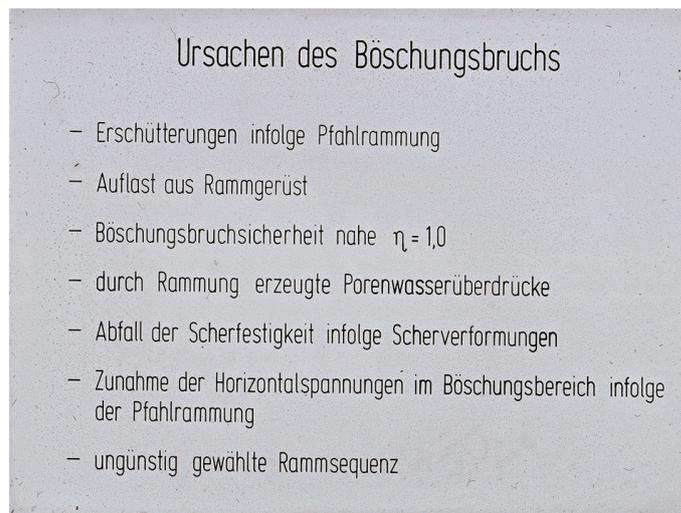


Bild 19: Ursachen des Böschungsbruchs

Für das Einrammen der Entlastungspfähle wurde ein neuer Bauablauf festgelegt, wie aus Bild 20 hervorgeht.



Bild 20: Angepasster Bauablauf für Entlastungspfähle

Einrammen der landseitig liegenden 5 Spannbetonpfahlreihen

Bei der landseitigen Spannbetonpfahlreihe ist alle 5 m ein vertikaler Pfahl und dazwischen ein Schrägpfahl angeordnet. Diese Pfahlreihe wurde von Land aus eingerammt. In geringer Entfernung zu der abgerutschten Böschung wurde dabei eine Böschungsbewegung infolge der Installation dieser Pfahlreihe von bis zu 50 cm festgestellt.



Bild 21: Ausbauchung an der Stützwand infolge der Installation der Landseitigen Spannbetonpfahlreihe

Da weiterhin mit Pfahlbewegungen in dieser Größenordnung gerechnet werden musste, mit der Gefahr eines Böschungsbruches oder Rissen in den Spannbetonpfählen, wurde ein den ungünstigen Bodenverhältnissen angepasster Bauablauf entwickelt.

Mit einem Schneckenbohrer wurde vor der Pfahlrammung eine Bohrung mit 700 mm Durchmesser bis auf Höhe des Böschungfußes hergestellt.



Bild 22: Vorbohrung vor Pfahlrammung und Füllung der Bohrung mit Bentonitsuspension

Die Bohrung wurde beim Ziehen über das zentrale Rohr mit Bentonitsuspension gefüllt, um nicht zu kollabieren.



Bild 23: Schrägbohrung für geneigten Pfahl

Auf die Bohrung von 700mm wurde der Pfahl mit 900 mm aufgesetzt.



Bild 24: Aufsetzen des Pfahles auf die Bohrung

Die Pfähle sanken unter Eigengewicht bis etwa auf Böschungsfußtiefe in den Untergrund. Über die restliche Tiefe von mehr als 15 m wurden sie dann mittels der Ramme eingebracht.



Bild 25: Pfahlrammung



Bild 26: Gerammtes Pfahlfeld

Die Pfahlverschiebungen blieben infolge dieser schonenden Böschungsbehandlung bei wenigen cm, max. bei 5 cm. Bohrungen und Rammungen folgten einander im Takt. Die Tagesleistung für Vorbohrung und Rammung betrug im Mittel 8 Pfähle. Sie war etwa gleich groß wie die ursprüngliche Rammleistung ohne Vorbohrung.



Bild 27: Pfahlkopfherstellung

Die Anlegeplattform einschließlich der Sanierung der Böschungsrutschung konnte im Jahr 1981 abgeschlossen werden.



Bild 28: Offshore-Einsatz von Herrn Sänger

Welche Lehren sind aus diesem Projekt zu ziehen?

Welche Lehren sind aus diesem schwierigen Projekt zu ziehen

1. Die richtige Technik ist Grundlage einer erfolgreichen Bauausführung
2. Der Baubetrieb muß zwar aus Wirtschaftlichkeitsgründen auf die Technik Einfluß nehmen - der mögliche Freiraum wird von den technischen Randbedingungen bestimmt
3. Eine Risikoanalyse ist notwendig
4. Technische Risiken können durch Anpassung der Verfahrenstechnik reduziert werden
5. Meßergebnisse müssen auch praktische Auswirkungen auf den Baubetrieb haben

Bild 29: Lehren aus diesem Projekt