

AUFBAU EINES HYDRAULISCHEN TIDEMODELLS FÜR
DAS LAGUNENGEBIET VON ABU DHABI

Erection of a hydraulic tide model for
the lagoon region of Abu Dhabi



Egon Giese, Dipl.-Ing., Technischer Angestellter in der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW).

Geboren 1920. Nach Wehrdienst (1940 - 1945) Studium des Bauingenieurwesens (Ingenieurbau) an der Fachhochschule Oldenburg von 1945 bis 1947. Danach (1948) zunächst Versuchsingenieur bei der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau in Berlin, Außenstelle Karlshorst, später Leiter dieser Außenstelle und Oberingenieur. Seit 1958 bei der Bundesanstalt für Wasserbau, Abt. Wasserbau, ab 1965 bei der Außenstelle Küste, Referat "Wasserbauliches Versuchswesen" in Hamburg. Im Ruhestand (seit 1983) als Berater der BAW für das Projekt Abu Dhabi tätig.

Veröffentlichungen über Tidemodelle mit beweglicher Sohle und Sedimenttransport.

Inhaltsangabe

Das "Water and Electricity Department" Abu Dhabi plante, eine Wasserbau Versuchsanstalt und ein hydraulisches Modell des Lagunengebietes von Abu Dhabi bauen zu lassen, um zahlreiche hydrologische und wasserbauliche Probleme untersuchen zu können. Mit dem Bau wurde nach internationaler Ausschreibung eine Arbeitsgemeinschaft deutscher Firmen beauftragt, in der die "Ingenieurgesellschaft Meerestechnik und Seebau" (IMS) in Hamburg die Federführung hat. Dabei sind das Franzius-Institut der Universität Hannover und die Außenstelle Küste der Bundesanstalt für Wasserbau für den Aufbau, die Einrichtung und einen dreijährigen Betrieb des hydraulischen Tidemodells beratend tätig. Nach umfangreichen Vermessungsarbeiten und hydrologischen Messungen in der Natur wurde im Juli 1983 mit dem Bau des Modells begonnen. Dieser, die technischen Einrichtungen und die Herstellung der dynamischen Naturähnlichkeit werden beschrieben. Ende 1986 war die Eichphase abgeschlossen, so daß das Modell ab 1987 für den eigentlichen Versuchsbetrieb zur Verfügung steht.

Summary

The "Water and Electricity Department" of Abu Dhabi planned the construction of a laboratory with a hydraulic model of the lagoon region of Abu Dhabi because many hydrological and technical problems can be solved by modeltests. After an international competition a joint venture of German firms under the direction of the "Ingenieurgesellschaft Meerestechnik und Seebau" (IMS) at Hamburg has been authorized with the execution of all works. The "Franzius-Institut" of the University of Hannover and the "Außenstelle Küste der Bundesanstalt für Wasserbau" have been engaged as consultants for construction and equipment of the hydraulic tide model and its operation for three years. A survey and hydrological investigations had been performed in prototype before the construction of the model began in July 1983. This report deals with the construction of the model, its technical equipment and its calibration. After the calibration was finished in the end of 1986 the model has got ready for the virtual model tests.

I N H A L T

	Seite
1 Einleitung	181
2 Naturmessungen	182
3 Das Modell und seine technischen Einrichtungen	183
4 Die Modelleichung	189
5 Zusammenfassung	191

1 Einleitung

Das "Water and Electricity Department" von Abu Dhabi in den Vereinigten Arabischen Emiraten beauftragte im Jahre 1982 nach internationaler Ausschreibung das Joint Venture Umm Al Nar, Hydraulic Laboratory (JV), mit der Durchführung aller Arbeiten für den Bau und Betrieb einer Wasserbauversuchsanstalt. Der Auftrag umfaßte Naturmessungen, Planung und Bau eines hydraulischen Tidemodells der Umgebung von Abu Dhabi nebst Versuchshalle sowie Planung, Lieferung, Installation und Inbetriebnahme der elektronischen Modellausrüstung, des Meß- und Steuersystems und der Datenerfassung und -verarbeitung. Nach Eichung des hydraulischen Tidemodells und Übergabe an den Auftraggeber sollen Modellversuche und Personaltraining im Rahmen einer 3-jährigen Betriebsphase folgen. Die Federführung für die gesamte Auftragsabwicklung und die Koordinierung aller Arbeiten liegt bei der Ingenieurgesellschaft Meerestechnik und Seebau (IMS) in Hamburg. Für die modelltechnischen Aufgaben sind innerhalb des JV das Franzius-Institut Hannover (FI) und die Außenstelle Küste der Bundesanstalt für Wasserbau beratend tätig.

Ziel der hydraulischen Modellversuche soll es sein, genaue Erkenntnisse über die hydraulischen Vorgänge im Seegebiet vor Abu Dhabi und in dem verzweigten Lagunensystem zu gewinnen, insbesondere im Zusammenhang mit ausgeführten oder geplanten Baumaßnahmen. Dabei spielen die Ausbreitung und die Zirkulation des aufgeheizten Kühlwassers der Kraftwerke und des aufgesalzenen Wassers aus den Meerwasser-Entsalzungsanlagen sowie die Zuführung frischen Meerwassers eine besondere Rolle.

Bild 1 zeigt das See- und Lagunengebiet um Abu Dhabi, dessen geographische Lage im Staatsgebiet der Vereinigten Arabischen Emirate (VAE) am Arabischen Golf zwischen Oman und Qatar auf der Übersichtsskizze rechts oben in Bild 1 angegeben ist. Abu Dhabi ist flächenmäßig das größte (65 000 km²) und durch seine Erdölproduktion wirtschaftlich bedeutendste Emirat der VAE. Die Hauptstadt Abu Dhabi (gleichzeitig Hauptstadt der VAE) liegt auf einer der Küste vorgelagerten flachen, sandigen Insel, die durch zwei Brücken über den Maqta-Kanal mit dem Festland verbunden ist. Das Innere des Emirats besteht fast nur aus Wüste.

Die VAE liegen in der subtropischen Zone, das bedeutet starke Hitze (im Sommer bis 45°C) und hohe Luftfeuchtigkeit, besonders in Küstennähe. Der Salzgehalt des Meeres beträgt 35 bis 40 o/oo bei Wassertemperaturen bis 35°C in der heißesten Zeit. Diese Angaben unterstreichen, welche extrem hohen Anforderungen an Modelleinrichtungen, Meßgeräte und an das Personal gestellt sind, um Aufbau und Betrieb des Modells zu gewährleisten.

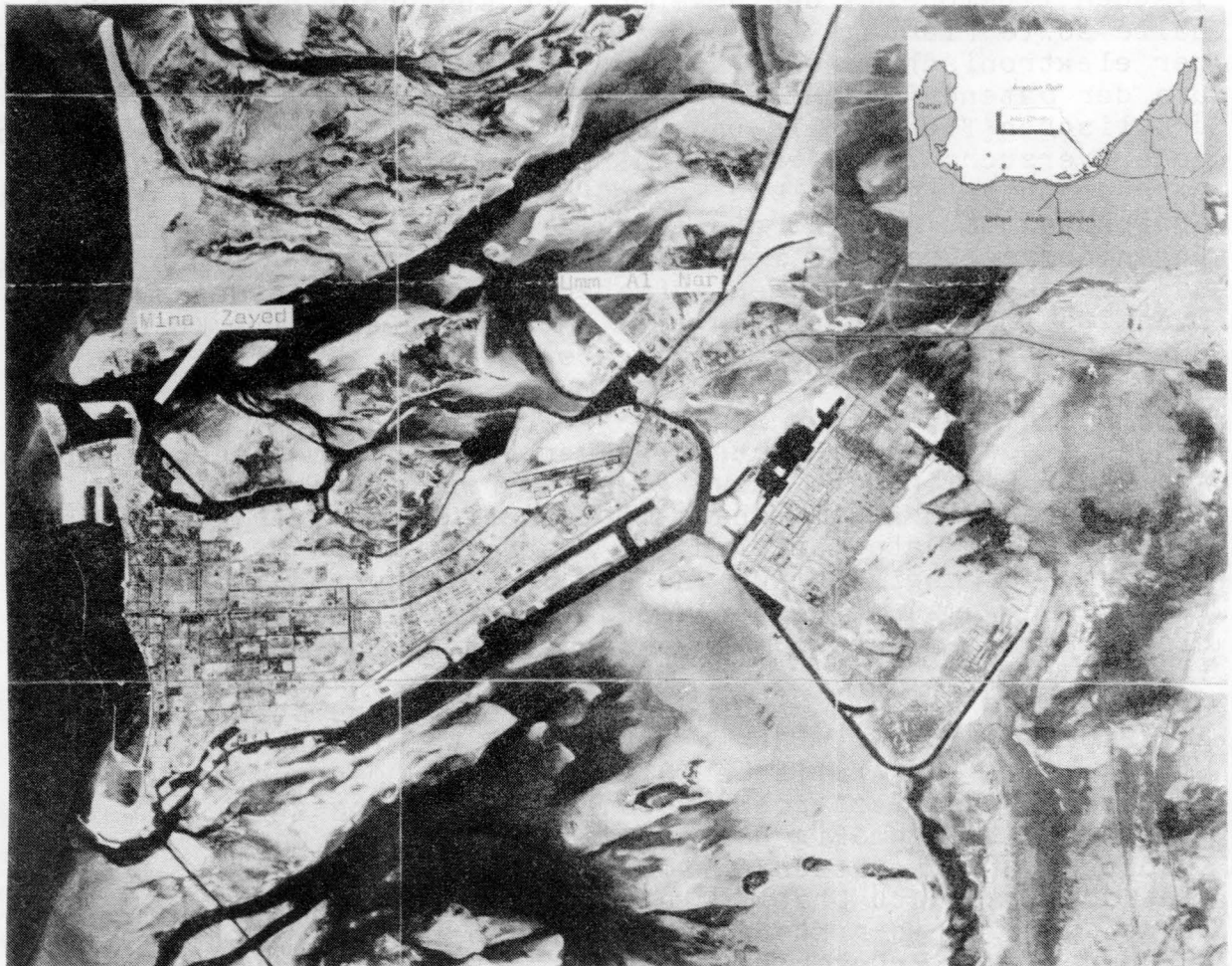


Bild 1 Das See- und Lagunengebiet um Abu Dhabi

2 Naturmessungen

Im Rahmen des Auftrages war es die erste Aufgabe der IMS, das See- und Lagunengebiet um Abu Dhabi topographisch zu vermessen, um das Modell maßstabsgerecht aufbauen zu können. Für die Eichung des Modells mußten außerdem in Ergänzung zu früheren Messungen hydrologische Messungen ausgeführt werden. Diese Messungen wurden gleichzeitig an 15 Orten vorgenommen und erstreckten sich über einen Zeitraum von 5 Monaten im Sommer 1982. Die

Vermessung, einschließlich der Herstellung von Seekarten, umfaßte ein Seegebiet von ca. 200 km² und Teile des Lagunengebietes und Kanalsystems von ca. 100 km².

Die Tidebedingungen im Arabischen Golf unterscheiden sich wesentlich von denen an der deutschen Nordseeküste. Kennzeichnend sind die im Golf merklich ausgeprägten täglichen Ungleichheiten, die im Anstieg zur Springzeit zunächst eine kleinere und nachfolgend eine größere Tide zeigen, während im Abstieg zur Nippzeit sich diese Verhältnisse umkehren. Daher erschien es notwendig, als Bezugszeiten für das Modell grundsätzlich Doppeltiden zu berücksichtigen, also 2 x 12 h 25 min = 24 h 50 min bzw. 1.490 Minuten (Natur). Die Springtide und Nipp-tide, für die das Modell zunächst geeicht werden sollte, liefen als Doppeltiden in der Natur am 22./23.6.82 und am 28./29.7.82.

Um eine Vorstellung zu haben, zwischen welchen Höhen sich die Wasserstände bewegen, sind nachfolgend die Grenzwerte für Mina Zayed (am nördlichen Eingang des Lagunensystems) und Umm Al Nar (Halbinsel im Inneren des Lagunensystems) angegeben (siehe auch Bild 1):

	HHWL (cm ACD)	LLWL (cm ACD)
Mina Zayed	2,70	0,09
Umm Al Nar	2,64	0,48

HHWL ist das höchste Tidehochwasser (HThw) und LLWL das niedrigste Tideniedrigwasser (NTnw). ACD bedeutet "Admiralty Chart Datum" und ist der Bezugshorizont der Seekarten. Der steilste Anstieg des Wasserstandes bei Flut wird mit 0,35 m/h und der stärkste Fall des Wasserstandes bei Ebbe mit 0,50 m/h angegeben. Die maximalen Fließgeschwindigkeiten im Seegebiet parallel zur Küste betragen z.B. für den Ort C3 0,46 m/s.

3 Das Modell und seine technischen Einrichtungen

Für des Modell wurden die Maßstabe 1:375 horizontal und 1:60 vertikal gewählt. Bild 2 zeigt die Grenzen des Modells. Die gesamte Modellfläche beträgt ca. 4.100 qm. Für das Modell wurde eine Versuchshalle mit 110 x 70 m lichten Weiten und einer lichten Höhe (Untergurt der Binder) von 8 m gebaut. Die äußere Ansicht zeigt Bild 3. Folgende Einrichtungen für den Modellbetrieb sind in der Versuchshalle untergebracht: Tiefbehälter mit einem Volumen von 600 cbm, verschiedene Rücklauf-rinnen, Hochbehälter mit konstanter Druckhöhe + 11,5 m über Hallensole, eine Ringleitung in der Halle zur Versorgung der Steuerstellen (Durchmesser 500 mm) und 3 Pumpen zur Versorgung des Modells mit je 250 l/s Förderleistung.

Giese: Aufbau eines hydraulischen Tidemodells

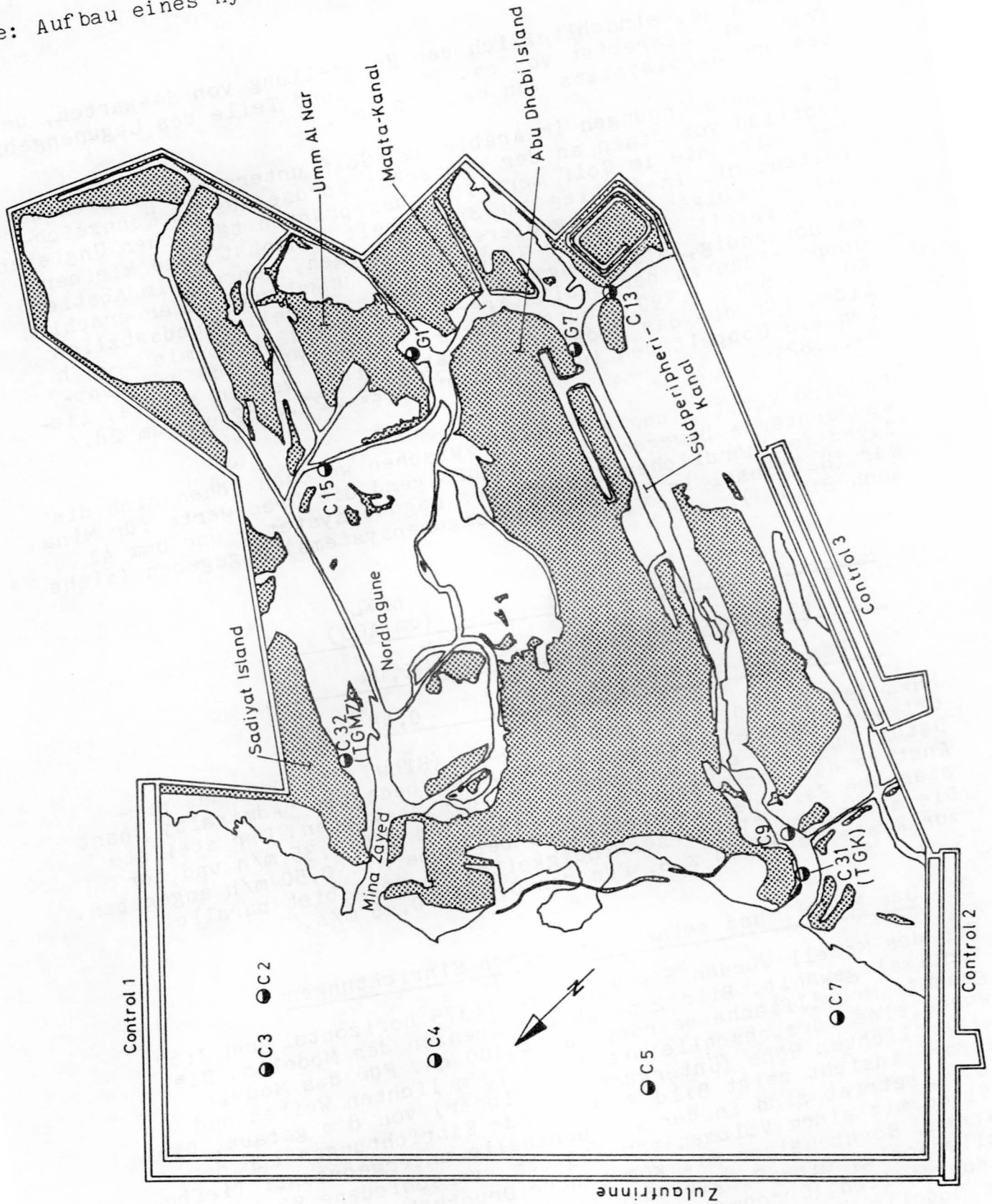


Bild 2 Modellgrenzen, Lage der Regeleinrichtungen und Pegelstationen



Bild 3 Ansicht der fertigen Modellhalle

In der nachfolgenden Tabelle sind die Übertragungsmaßstäbe nach dem Ähnlichkeitsgesetz von Froude zusammengestellt:

Nr. Übertragungsparameter	Maßstabs- beziehung	Maßstabs- zahl
1 Längen, Breiten	L	375
2 Höhen, absolute Wasser- spiegelgefälle, Geschwin- digkeitshöhen	h	60
3 Verzerrung	L/h	6,25
4 Querschnitte	L.h	22 500
5 Fließgeschwindigkeiten	$h^{0,5}$	7,75
6 Zeiten	$L/h^{0,5}$	48,41
7 Wasservolumen	$L^2.h$	$8,44 \cdot 10^6$
8 Durchflüsse in der Zeiteinheit	$L.h^{1,5}$	$174,284 \cdot 10^3$

L = Längenmaßstab, h = Höhenmaßstab

Im Juli 1983 begann der Modellaufbau. Aus den 1982 vermessenen Seekarten wurden im Abstand von 375 m (= 1 m im Modell) Profile herausgezogen und im Modellmaßstab aus Aluminiumblech ausgeschnitten. Sie wurden in einem Sandbett auf Pfeiler gesetzt und lage- und höhenmäßig eingemessen. Entsprechend der Oberkante der Blechprofile wurde eine feste Sohle aus Beton modelliert. Bild 4 zeigt eine typische Phase des Modellbaus. Mit dieser Bauweise konnte die geforderte hohe Genauigkeit der topographischen Nachbildung eingehalten werden.

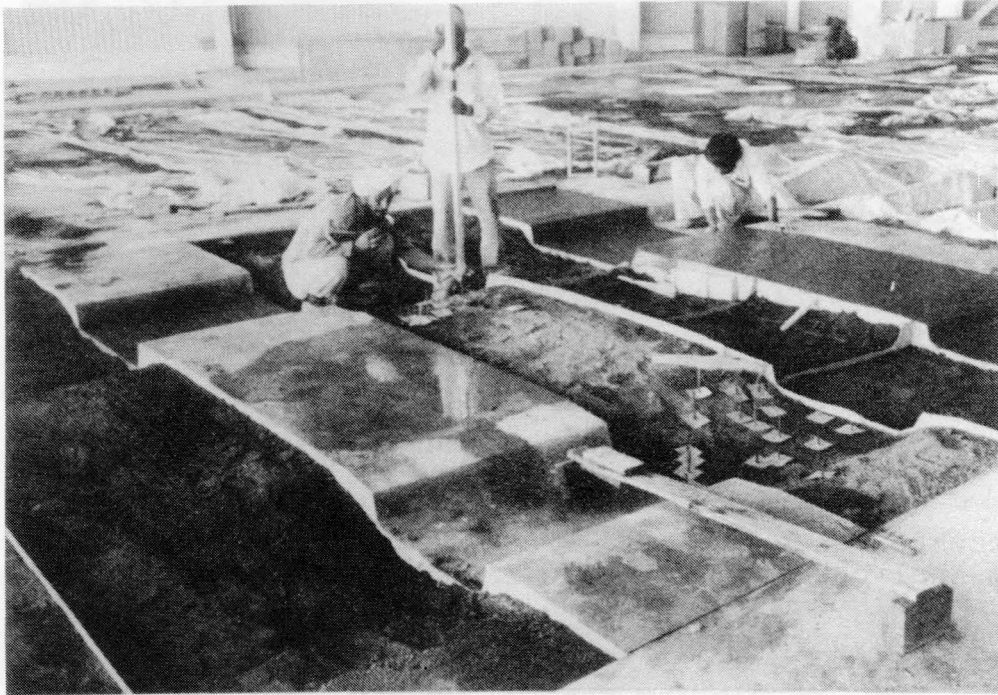


Bild 4 Herstellen der Modellfläche

Der Wasserzulauf erfolgt über 3 Steuerstellen (Control 1 bis 3). Control 1 (Länge 12 km = 32 m im Modell) ist als Q-geregelte Mengensteuerung ausgelegt mit getrennten Systemen für Füll- und Entleerungsdurchflüsse. Control 2 (Länge 9,56 km = 25,5 m im Modell) ist eine Wasserstandsregelung, bei der Ist- und Sollwerte der Wasserstände für einen Steuerpegel verglichen werden und bei Abweichungen eine Sektorklappe mit Spindelantrieb für entsprechende Korrekturen sorgt. Die Entfernung zwischen Control 1 und Control 2 beträgt in der Natur 24 km oder 64 m im Modell. Control 3 (Länge wie Control 2) ist ebenfalls als Wasserstandsregelung ausgebildet. Mit Hilfe eines konstant eingestellten Zuflusses wird der von der Südlagune einwirkende Wasseraustausch durch Regelung einer Sektorklappe simuliert. Bild 5 zeigt das geflutete Modell mit dem zentralen Kontrollstand in Bildmitte und der Control 2 im Vordergrund. Bild 6 vermittelt eine Übersicht des gefluteten Modells von der Landseite. Deutlich zu erkennen ist der Maqta-Kanal, die Verbindung zwischen Nordlagune und Südperipherie-Kanal. Oben rechts ist die Control 1, die nördliche Grenze des Seeteils zu sehen.

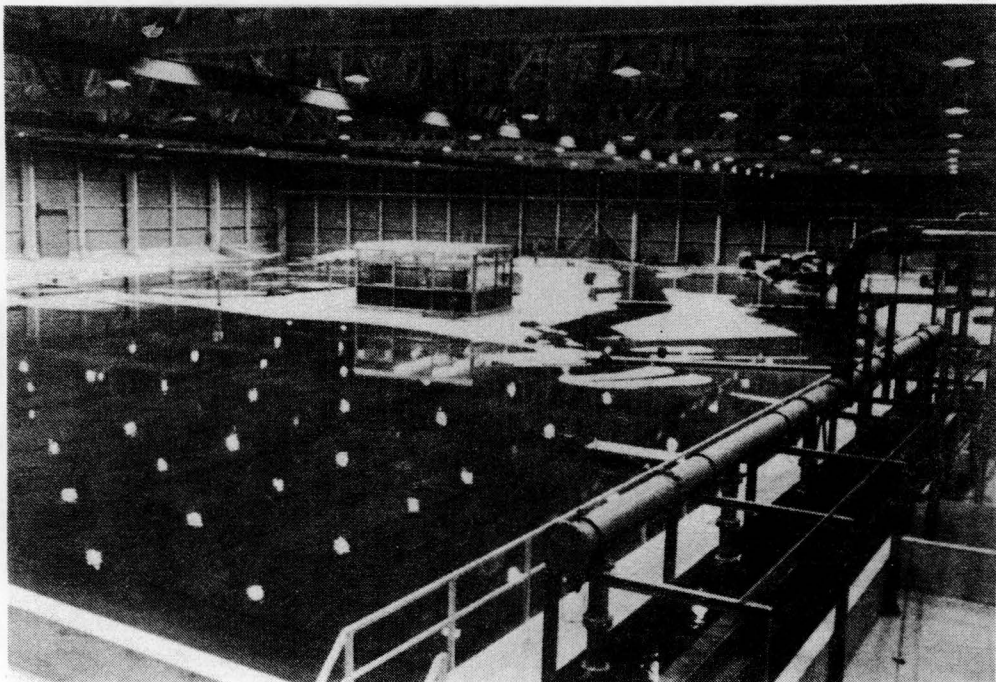


Bild 5 Blick in die Halle mit dem gefluteten Modell. Blickrichtung von See nach binnen. Im Vordergrund rechts "Control 2", in Bildmitte der zentrale Steuerstand

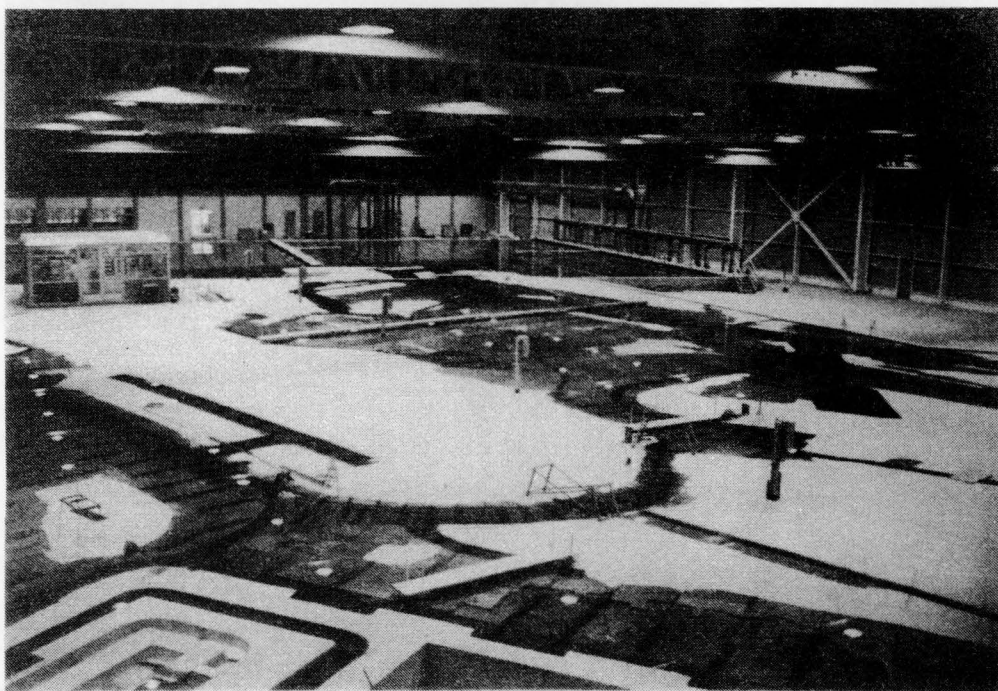


Bild 6 Blick auf das hydraulische Modell von der Binnenseite. In der vorderen Bildmitte der Maqta-Kanal, die Verbindung zwischen Nordlagune (rechts) u. Südlagune (links).

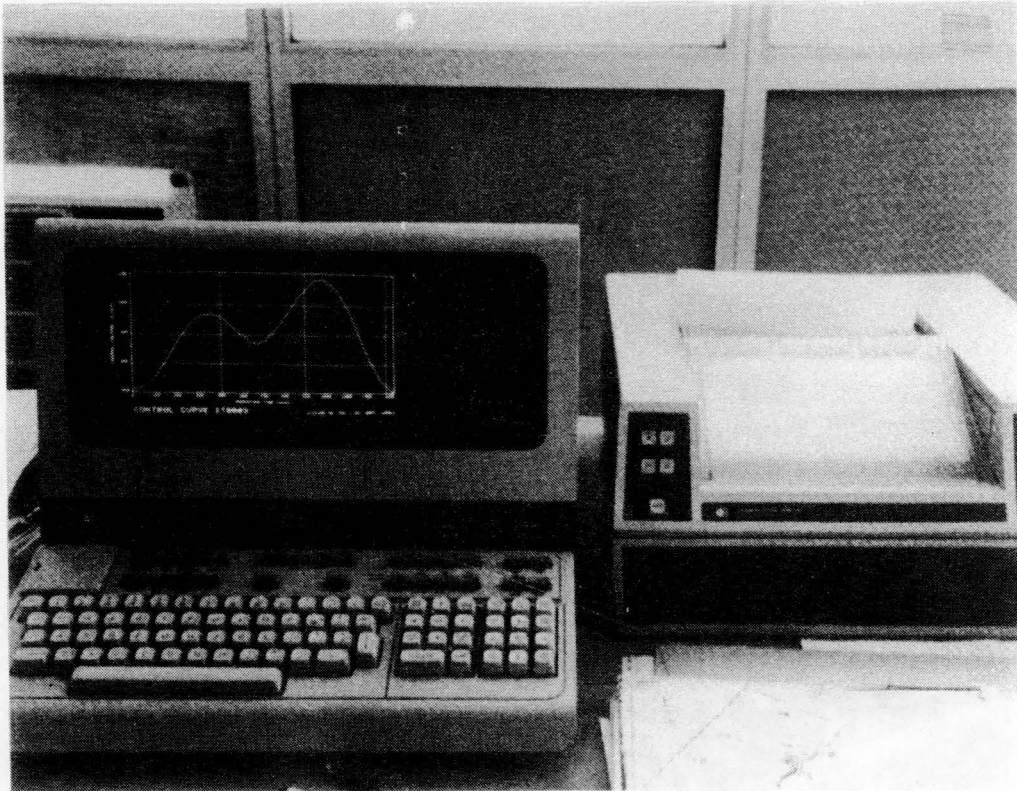


Bild 7 Komponenten des Rechnersystems mit Peripherie für Modellsteuerung, Datenerfassung und Auswertung

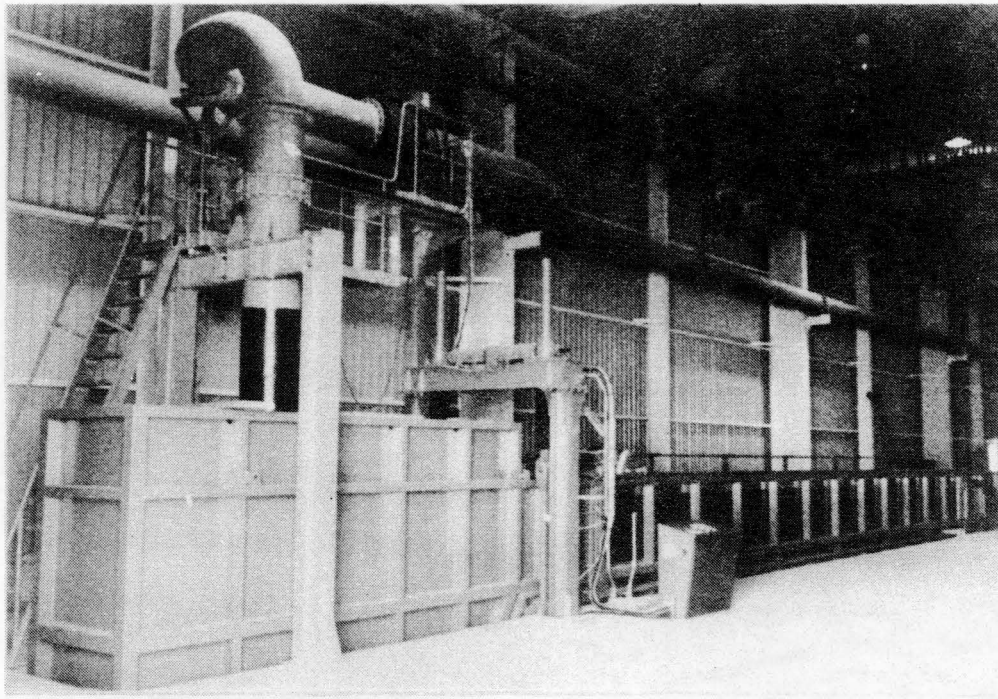


Bild 8 Kipprinne mit Schleppwagen für die Eichung von Meßgeräten

Das Computersystem für die Modellsteuerung (mit 4 Regelkreisen), Datenerfassung und -auswertung wurde vom Franzius-Institut entwickelt bzw. zusammengestellt. In Bild 7 sind Teile dieses Systems abgebildet. Auf dem in dieser Aufnahme sichtbaren Bildschirm ist eine für den Golf typische Doppeltide mit täglicher Ungleichheit zu erkennen.

Eine zusätzliche Einrichtung, die nicht unmittelbar mit dem Modell zusammenhängt, ist die in der Versuchshalle installierte 25 m lange Kipprinne (Bild 8). Der Nutzquerschnitt beträgt 1 x 1 m. Mit Hilfe eines auf Schienen laufenden Meßwagens können hier bei Bedarf Strömungsmeßgeräte geeicht werden. Zur Ausstattung der Wasserbauversuchsanstalt gehören auch entsprechende Werkstätten für Holz- und Metallbearbeitung sowie ein Fotolabor. Für das Betriebspersonal sind an der Stirnseite der Versuchshalle einige klimatisierte Arbeitsräume vorhanden.

4 Die Modelleichung

Ziel der Eichung, die im Herbst 1985 begann, war der Nachweis dynamisch ähnlicher Verhältnisse zwischen Natur und Modell. Hierzu mußten im Modell zunächst Rauheitselemente, auf die Oberfläche verteilt, eingebaut werden, weil die modellierten Betonflächen hydraulisch zu glatt sind. Als Rauheitskörper wurden verzinkte Streckmetallstreifen verlegt, deren Abstände, Lage zur Strömungsrichtung und Neigungen zur Sohle den Verhältnissen anzupassen waren, die schließlich optimale Ergebnisse bei der Reproduktion der Tideverhältnisse für die Gesamtzahl der aufgestellten Pegel ergaben. In Bild 6 sind diese Rauheitselemente zu erkennen. Die erforderlichen Zu- und Abflüsse für die 3 Modellsteuerungen (4 Regelkreise) wurden für die verschiedenen Ereignisse zunächst getrennt berechnet und später den Erfordernissen entsprechend modifiziert.

Da das Modell die topographischen Verhältnisse des Jahres 1982 darstellt und die hydrologischen Messungen ebenfalls 1982 ausgeführt wurden, waren ideale Bedingungen für exakte Vergleiche der Fließvorgänge zwischen Natur und Modell vorhanden. Die Orte der verschiedenen für die Modelleichung verwendeten Pegel sind in Bild 2 vermerkt. Für die einzelnen Pegel wurden "Check-Kurven" (Wasserstände aus Naturwerten) vorbereitet, so daß bei den Ausdrucken der Modellergebnisse stets der aktuelle Vergleich zwischen Modell und Natur beurteilt werden konnte. Dieses Verfahren wurde auch für Vergleiche von Geschwindigkeiten und Strömungsrichtungen angewandt.

Die Eichung wurde zunächst für eine Springtide (Doppeltide vom 22./23.6.82) und eine Nipptide (Doppeltide vom 28./29.7.82) vorgenommen. Die jeweils gewählte Doppeltide - Dauer im Modell 34,46 Minuten - wurde bei den Eichversuchen ständig wiederholt. Die einzelnen Meßwerte für die Wasserstände wurden dabei in einer Folge von 1,9 Sekunden registriert und gespeichert, so daß sie jederzeit bei Bedarf abgerufen und ausgedruckt werden

konnten. Bei der Eichung wurde nach folgendem Schema vorgegangen:

- a) Versuche mit vorberechneten Steuerkurven für die betreffende Tide und gleichzeitiger Messung der Wasserspiegellagen und Strömungsgeschwindigkeiten im Modell
- b) Vergleich der Modell- und Naturdaten im Hinblick auf Tidehöhe, Wasserspiegelgefälle, Zeiten des Eintritts von Hoch- und Niedrigwasser und der Fortschrittszeiten der Tidewelle. Ferner Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen sowie Kenterzeiten der Strömungen
- c) Feststellen der Abweichungen zwischen Modell- und Naturdaten und notwendige Korrekturen der Steuerkurven bei Abweichungen
- d) Modellversuche mit veränderten Steuerkurven und gleichzeitige Messungen für Wasserspiegellagen und Strömungen
- e) Vergleich von Modell- und Naturdaten wie unter b) beschrieben
- f) Feststellen der Abweichungen zwischen Modell- und Naturdaten und Veränderungen der Rauheitselemente im Modell.

Durch ständige Wiederholungen der Schritte a) bis f) wurden Steuerkurven und Rauheitselemente iterativ modifiziert, bis die Abweichungen zwischen Modell- und Naturdaten für die verschiedenen zu vergleichenden Parameter innerhalb annehmbarer Grenzen lagen. Es konnte so erreicht werden, daß praktisch an allen Pegelstellen die Unterschiede zwischen den Modell- und Naturdaten der Genauigkeit von Wasserstandsmessungen in der Natur entsprachen. Auch konnte eine ausreichende Übereinstimmung der Strömungsgeschwindigkeiten in Modell und Natur in fast allen Meßpunkten erzielt werden.

Eine weitere Bedingung für den Nachweis der Naturähnlichkeit war das Nachfahren von zwei monatlichen Zyklen mit je 29 Doppeltiden (Zeitaufwand je Versuch 15,72 Stunden). Dafür wurden die Tidezyklen vom 15.6. bis 15.7.82 und vom 15.7. bis 15.8.82 ausgewählt. Für die iterative Verbesserung der Meßwerte wurde wie folgt vorgegangen:

- a) Modellversuche mit den berechneten Steuerkurven und Messung relevanter Parameter im Modell
- b) Vergleich zwischen Modell- und Naturdaten
- c) Berechnung der Abweichungen aus b)
- d) Revision der Steuerkurven mit dem Ziel, das Verhältnis zwischen Modell- und Naturdaten zu verbessern.

Dieser Vorgang wurde solange wiederholt, bis ein befriedigendes Ergebnis erreicht war. Grundsätzlich wurde dabei die für Spring- und Nipptiden gefundene Verteilung der Rauheitselemente nicht verändert.

Auf die Wiedergabe von Tidekurven und Ganglinien der Strömungsgeschwindigkeit in Natur und Modell soll im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden, weil der Umfang des vorliegenden Materials zu groß ist. Insgesamt konnte für das gesamte im Modell dargestellte Gebiet eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Wasserständen und den Strömungsgeschwindigkeiten in Natur und Modell erzielt werden, so daß trotz der schwierigen hydraulischen Verhältnisse im inneren Lagunengebiet von Abu Dhabi die dynamische Naturähnlichkeit des Modells als sehr gut bezeichnet werden kann.

Nach Abschluß der Eichung und Abnahme des Modells durch den Auftraggeber, soll ab 1987 ein 3-jähriges Versuchsprogramm folgen. Der hierfür abgesteckte Rahmen wird nachfolgend kurz beschrieben. In der ersten Phase werden tidedynamische Versuche ausgeführt:

- Ursprung des Kühlwassers für die Kraftwerke auf Umm Al Nar. Versuche und Berechnungen für qualitative Beurteilungen,
- Untersuchungen für Wärme- und Salzgehaltsausbreitungen,
- Versuche für Sedimentation und Erosion.

In der zweiten Phase sollen verfeinerte Untersuchungen für Wärme- und Salzgehaltsausbreitungen folgen, um die qualitativen Ergebnisse der Phase 1 zu mehr quantitativen Vorhersagen aufzuarbeiten.

Für die Lösung dieser hier nur kurz angesprochenen, in einem ausgearbeiteten Programm aber schon detailliert festgeschriebenen Aufgaben sollen zunächst extreme hydraulische Bedingungen berücksichtigt werden (Spring- und Nipptiden) und später folgend, zur Simulierung der Normalverhältnisse, ein Tidezyklus ablaufen.

Für die besonderen Untersuchungsgebiete (Nähe Umm Al Nar) müssen zusätzliche Pegel und Strömungsmesser aufgestellt werden. Fotoaufnahmen zur Dokumentation von Oberflächenströmungen sowie Farbinjektionen zur Beobachtung von Ausbreitungsvorgängen bilden ergänzendes Material für die Beurteilung der Versuchsergebnisse. Zwischenzeitliche Veränderungen der topographischen Verhältnisse müssen ebenfalls beachtet werden.

5 Zusammenfassung

Die Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste, ist seit 1982 zusammen mit dem Franzius-Institut der TU Hannover in beratender Funktion an dem Projekt: "Bau und Betrieb einer Wasserbauversuchsanstalt in Abu Dhabi, einschließlich eines

hydraulischen Tidemodells" beteiligt. Es wird über die aus den Messungen in der Natur gewonnenen Grundlagen des Modells, seinen Aufbau und die Modelleleichung berichtet.

Die Tideverhältnisse im Arabischen Golf haben als kennzeichnendes Merkmal besonders ausgeprägte tägliche Ungleichheiten, so daß als Bezugsdauer im Modell die Folge von Doppeltiden gewählt wird. Die Tideverhältnisse im verzweigten Lagunengebiet von Abu Dhabi sind außerordentlich komplex, so daß die Darstellung der dynamischen Naturähnlichkeit des Modells nicht einfach war. Geeicht wurden Springtiden, Nipptiden und zwei verschiedene Monatszyklen. Es konnte eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den in der Natur gemessenen Tidedaten und den im Modell reproduzierten Werten gewonnen werden. Durch die angewendete moderne Computertechnik stehen umfassende Informationen schnell und ohne weitere manuelle Bearbeitung für die Wertungen zur Verfügung.

Trotz hoher örtlicher Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit in der Versuchshalle, haben sich Einrichtungen und hochempfindliche Meßgeräte nach den bisher gesammelten Erfahrungen voll bewährt. Alle Systeme arbeiten einwandfrei.

Die Versuche in dem Tidemodell in Abu Dhabi sollen auf der Basis des skizzierten Programms in den nächsten Jahren fortgesetzt werden. Mit dem hier beschriebenen hydraulischen Modell des Lagunengebiets von Abu Dhabi steht diesem Land ein Instrument zur Verfügung, das für die Lösung zahlreicher schwieriger hydrologischer und wasserbaulicher Probleme auf Dauer erfolgreich eingesetzt werden kann.