

Hybride Modelle – Ein neuer Weg im wasserbaulichen Versuchswesen

Von K.-Peter Holz und Rolf-D. Wundes

Zusammenfassung

Ergebnisse aus hydraulischen Modellversuchen sollten nur dann in die Natur übertragen werden, wenn Einflüsse aus untersuchten baulichen Maßnahmen an den Modellgrenzen, wo Randbedingungen geregelt werden, vernachlässigbar klein sind. Aus diesem Grund sind insbesondere Tidemodelle bei üblichen Modellmaßstäben oft sehr groß. Um die Ausdehnung solcher Modelle und somit Zeit- und Kostenaufwand zu reduzieren, wurde ein *hybrides Modell* entwickelt. Dieses ist eine Kombination aus hydraulischem und hydrodynamisch-numerischem Modell, die miteinander unter Echtzeitbedingungen gekoppelt werden. Hierbei werden dreidimensionale Nahfelduntersuchungen im hydraulischen Teil durchgeführt, wobei das Fernfeld mathematisch simuliert wird und diese Ergebnisse auf das hydraulische Modell rückübertragen werden.

Summary

Results from hydraulic model investigations may be transferred to prototype only, if it has been made sure that hydraulic effects due to structural measures under investigation have decreased to negligibly small quantities where boundary conditions are controlled. According to this requirement, tidal models in particular are very often quite extended in area. In order to reduce the size of such hydraulic models, and thus to save time and costs, a "hybrid model" has been developed. This is a combination of a hydraulic and a hydrodynamic-numerical model which both are coupled under real-time conditions. Applying this new technique, three-dimensional investigations are carried out in a hydraulic model of the near-field region, whereas the far-field simulation is done numerically and fed back to the partial hydraulic model.

Inhalt

1. Einleitung	52
2. Grundgedanke des hybriden Modells	53
3. Anwendung und Güte	54
4. Anmerkung	56
5. Schriftenverzeichnis	56

1. Einleitung

Das wasserbauliche Versuchswesen, dessen Anfänge in das letzte Jahrhundert zurückreichen, wurde in dem vergangenen Jahrzehnt durchgreifend modernisiert. Der Einsatz elektronischer Bauelemente führte zu einer wesentlichen Verbesserung der Meßtechnik und zur Verwendung digitaler Kleinrechner zur Steuerung hydraulischer Modellversuche. Die Meßwerterfassung und -aufbereitung über einen zentralen Rechner ermöglichen heute erweiterte und verfeinerte Untersuchungen; die Daten können in höherer Dichte aufgenommen und nach wesentlich mehr Kriterien untersucht werden. Die physikalische Aussage eines Modell-

versuches wird damit besser beurteilbar. Dieses ist unbedingt erforderlich, da der Spielraum für menschliche Eingriffe in natürliche Systeme im Hinblick auf die Erhaltung unserer Umwelt immer geringer wird. Das sich immer stärker durchsetzende Umweltbewußtsein führt zu einer Neuorientierung vieler Fragestellungen auch im wasserbaulichen Bereich, wodurch die Anforderungen im Hinblick auf Umfang und Genauigkeit an die Modellversuche ständig steigen. Die Verbesserung der Gerätetechnik allein ist jedoch bei vielen großflächigen Modellen dazu nicht ausreichend: Die Wahl größerer Modellmaßstäbe wird erforderlich, wobei jedoch schnell technische und räumliche Größenordnungen erreicht werden, bei denen die Durchführung der Versuche, insbesondere bei Tidemodellen, problematisch wird. Es müssen also Ausschnittsmodelle hergestellt werden, da der für den Modellbetrieb zur Verfügung stehende Raum begrenzt oder aber ein umfassendes Großmodell wirtschaftlich nicht zu vertreten ist. Die Versuchsergebnisse aus einem Ausschnittsmodell sind jedoch nur dann in die Natur übertragbar, wenn sich die hydraulischen Einflüsse der untersuchten Maßnahmen nicht auf die vorgegebenen Werte von Zwangssteuerungen an den Modellrändern auswirken. Dieses ist aber bei einer Zwangssteuerung nicht feststellbar, da auftretende Änderungen dort „wegeregelt“ werden. Dieses „Übertragbarkeitskriterium“ führt bei der Festlegung der unter- und oberstromigen Modellgrenzen von Tidemodellen bei wissenschaftlich wünschenswerten Maßstäben wiederum zu unwirtschaftlichen Ausdehnungen. Die Folge daraus ist die Wahl kleinerer Horizontalmaßstäbe und – aus hydraulischen Gründen damit verbunden – oft eine Überhöhung der Modelle. Mit zunehmender Verzerrung eines hydraulischen Tidemodells beschränkt sich durch die zwangsweise Verwendung von „Überhöhungsrauigkeit“, dessen dynamische Naturähnlichkeit jedoch immer mehr auf die „Eichtide“, so daß Untersuchungen mit anderen hydrologischen oder morphologischen Randbedingungen zu fehlerhaften Ergebnissen führen und die Prognosesicherheit wesentlich mindern. Die letztendlich gewählten Maßstäbe für das zu erstellende Modell stellen oft einen Kompromißzustand dar zwischen Genauigkeitsanforderung und Wirtschaftlichkeit, der in wissenschaftlicher Hinsicht wenig befriedigt.

2. Grundgedanke des hybriden Modells

In den vergangenen Jahren ist nun eine völlig neue Modelltechnik entwickelt worden, bei der die Wahl der Modellgrenzen nicht mehr an die oben erwähnte „Übertragbarkeitsbedingung“ gebunden ist: Es werden hydrodynamisch-numerische (HN-) und hydraulische Modelle miteinander so kombiniert, daß beider Vorteile optimal genutzt und ihre Nachteile vermieden werden. Hierbei werden Randbereiche eines in klassischer Weise betriebenen hydraulischen Modells, in denen selbst keine detaillierten Untersuchungen durchgeführt werden müssen, durch HN-Modelle ersetzt. Die mathematischen Modelle können heute für Fernfelduntersuchungen als ausgereift angesehen werden. Die Verlagerung nur modelltech-

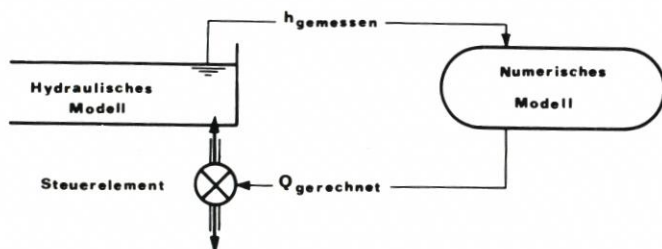


Abb. 1. Datenaustausch an der Koppelstelle

nisch erforderlicher Modellrandbereiche auf einen Rechner führt zu einem neuen Modelltyp – dem *h y b r i d e n M o d e l l*: Das physikalische und das mathematische Modell werden, miteinander gekoppelt, gleichzeitig betrieben, so daß ein kontinuierlicher Übergang für Wasserstand h und Durchfluß $\varnothing$ an der Nahtstelle beider Modelle von der einen in die andere Form der Simulation gewährleistet ist. Ein solches, unter Echtzeitbedingungen betriebenes Modell vereinigt die Vorteile beider Modellarten derart in sich, daß Detailstudien örtlicher und komplexer Vorgänge in einem sich auf das eigentliche Untersuchungsgebiet beschränken – den hydraulischen Modell dreidimensional und unverzerrt durchgeführt und die Fernfeldauswirkungen von den dynamisch mitrechnenden HN-Modellen ermittelt und auf das hydraulische Modell rückübertragen werden (Abb. 1).

Durch die zeitechte Übertragung der „Koppelgrößen“ $h(t)$ und $Q(t)$ von einem Teilmodell in das andere wird sichergestellt, daß Auswirkungen irgendwelcher flußbaulicher oder hydrologischer Veränderungen im hydraulischen Teilmodell an den Koppelstellen nicht wie im Fall der Zwangsregelung unterdrückt werden. Durch die Rückführung der Fernfeldauswirkungen in das hydraulische Teilmodell wird erreicht, daß die erforderliche Größe (Länge) eines hydraulischen Modells nicht mehr an die zuvor erwähnte „Übertragbarkeitsbedingung“ gebunden ist. Dieses gilt für ein- und zweidimensionale Fernfeldmodelle, wobei im letzteren Fall der technische Aufwand für die Koppelstelle (Steuerung von $Q(t)$ über den Rand nach Größe und Richtung) bei Flächenmodellen naturgemäß größer ist als bei der Realisierung einer eindimensionalen Koppelstelle (Steuerung von $Q(t)$), z. B. in einem Tidefluß.

3. Anwendung und Güte

Über die Grundsatzuntersuchungen zur Realisierung eines hybriden Prinzipmodells in Testrinnen ist bereits berichtet worden (HOLZ, 1976 u. 1977). Untersuchungen zur Übertragbarkeit auf praktische Fragestellungen im üblichen technischen Maßstab konnten an einem im Franzius-Institut der Universität Hannover vorhandenen, rd. 200 m langen hydraulischen Modell der Unterelbe von Altenbruch (Elbe-km 720.0) bis Grauerort (Elbe-km 660,6) in den Maßstäben 1:300 (horizontal) und 1:100 (vertikal) durchgeführt werden. Die Verzerrung des Modells spielte im Hinblick auf die Untersuchungen zur Frage der allgemeinen Anwendbarkeit der hybriden Modelltechnik keine Rolle. Seeseitig, bei Altenbruch, war das Modell mit

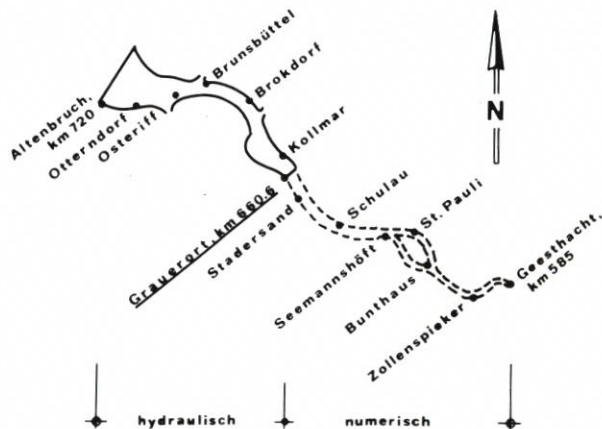


Abb. 2. Übersichtsplan des hybriden Modells der Unterelbe

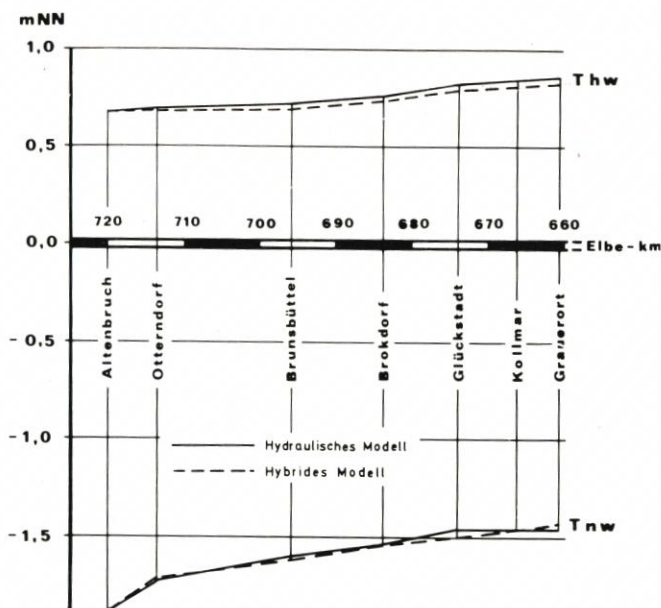


Abb. 3. Vergleich hybrides/hydraulisches Modell

einer h-Steuerung (rd. 40 m lange Klappe) versehen. An der oberstromigen Grenze, bei Grauerort, war eine Q-Steuerung installiert, mit welcher die dortige Randbedingung als Differenz zwischen einer konstanten Zulaufwassermenge und einer veränderlichen Abpump-leistung geregelt wurde. Dieses Modell wurde durch ein mathematisches Modell der Unterelbe von Grauerort bis Geesthacht zu einem hybriden Gesamtmodell der Unterelbe erweitert (Abb. 2).

Für den „hybriden“ Betrieb des Modells war kein besonderer technischer Aufwand erforderlich (WUNDES, 1980). In dem eindimensional, im Naturmaßstab rechnenden HN-Modell DØG (SCHULZE, 1973) wurde die Elbe von Grauerort bis Geesthacht, alle Stromverzweigungen berücksichtigend, in Intervallen von etwa 1 km diskretisiert. Geeicht wurde das Modell an der Tide vom 22. 8. 1975 für Zeitschritte von 10 Minuten. Für das Durchrechnen eines Zeitschrittes benötigte der Rechner (TR 86, Telefunken) 5 sec, so daß unter Berücksichtigung der Meßwerterfassung und Steuerung der Pumpe an der Koppelstelle, die ebenfalls von dem Rechner durchgeführt wurden, ein Zeitschritt von 6 sec für das hybride Modell gewählt wurde. Somit konnte, entsprechend den Maßstäben des hydraulischen Modells, die zeitdiskrete Kopplung der beiden Modelle in rd. 240 Intervallen je Tide erfolgen. Dieses liegt – verglichen mit einer Zwangssteuerung – weit über der Mindestzahl von 150 Sollwerten je Tide für eine hinreichend exakte Regelung einer Tidekurve in einem Tidemodell (REHLING, 1972).

Die Güte der hybriden Versuchstechnik wird dargestellt an einem Vergleich der Tidehoch- und -niedrigwasserstände aus hybridem und rein hydraulischem Versuch (Abb. 3).

Die Übereinstimmung beider Versuchsergebnisse ist überzeugend. Phasenfehler treten nicht auf. Die Restfehler resultieren aus der Verwendung einer extrem niedrig liegenden Tide, für die das hydraulische Modell nicht extra nachgeeicht wurde.

Damit ist der Nachweis der Anwendungsreife dieser neuen Modelltechnik erbracht. Bei gutgeeichten Teilmodellen sind Versuchsergebnisse aus hydraulischem und hybridem Versuch nahezu identisch (WUNDES, 1980). Für die Durchführung eines hybriden Modellversuches ist

ein Programmpaket „HYS“ (Hybrides System) entwickelt worden, das die praktische Handhabung hybrider Modelle auch für einen wenig erfahrenen Benutzer wesentlich vereinfacht. Innerhalb eines integrierten Systems übernimmt die Software die Steuerungsfunktionen am hydraulischen Modell, die Meßwerterfassung und das Durchrechnen des mathematischen Modells. Durch die Verwendung einer problemorientierten Sprache, deren Vokabeln aus dem wasserbaulichen Sprachgebrauch entnommen sind, wird das „HYS“ sehr transparent und seine Handhabung von Programmierkenntnissen weitgehend unabhängig. Seine Vielseitigkeit in technischer Hinsicht läßt dem Versuchingenieur freie Hand bei der Auswahl der Instrumentierung (HOLZ, 1979).

4. A n m e r k u n g

Die Entwicklung dieser neuen Modelltechnik im wasserbaulichen Versuchswesen, ihre Realisierung im Prinzip und Weiterentwicklung bis zur Anwendungsreife wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 79 „Wasserforschung im Küstenbereich“ an der Universität Hannover von 1974 bis 1979 gefördert und vom Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen sowie vom Lehrstuhl für Strömungsmechanik und der Abteilung Elektronisches Rechnen im Bauwesen unterstützt.

5. S c h r i f t e n v e r z e i c h n i s

- HOLZ, K.-P.: Analysis of time conditions for hybrid tidal models. Proc. Int. Conf. on Coastal Eng., Honolulu, 1976.
- HOLZ, K.-P.: Grundsatzuntersuchungen für ein hybrides Tidemodell. Die Küste, H. 31, 1977.
- WUNDES, R.: Entwicklung eines hybriden Tidemodells. Mitt. des Franzius-Inst. H. 49, 1980.
- SCHULZE, K.-W.: Eine problemorientierte Sprache für die Dynamik offener Gerinne (DÖG). Mitt. des SFB 79, H. 1, 1973.
- REHLING, U.: Meß- und Regeltechnik für ein hydraulisches Tidemodell. Mitt. des SFB 79, H. 2, 1972.
- HOLZ, K.-P.: Computer Language for Hybrid River Models. Advances in Engineering Software, Vol. 1, Nr. 4, 1979.