

## Vergleichsrechnungen nach den verschiedenen Verfahren

### 5.1 Beschreibung des Beispielschiffes

Das in Abschnitt 3.4.1.2 bei der Beschreibung der CFD-Berechnungen erwähnte Containerschiff (siehe den Spantenriß in Abb. 3-12), für das in einem BMBF-Vorhaben [Gronarz, 1992] umfangreiche PMM-Versuche durchgeführt worden sind, dient als Beispiel für die Möglichkeiten der Simulation von Schiffsmanövern auf flachem Wasser. Für das Forschungsvorhaben wurde es unter anderem ausgewählt, weil es eine ausgeprägte Gierinstabilität auf tiefem Wasser aufweist. Dies ist durch Großversuche der HSVVA [Oltmann, 1989] nachgewiesen worden und hat sich bei den Modelluntersuchungen auf tiefem (HSVVA) und auf flachem Wasser (VBD) bestätigt. Die Verwendung für die Betrachtungen in der vorliegenden Arbeit ist in dem Vorhandensein umfangreicher Daten auf 6 verschiedenen Wassertiefen begründet.

Bei dem Containerschiff handelt es sich um ein PANMAX-Schiff, dessen maximale Breite auf die Dimensionen der Schleusen des Panamakanals abgestimmt ist. Die Hauptabmessungen und die für die Simulation von Schiffsmanövern wichtigsten Daten sind in Tabelle 5-1 wiedergegeben.

|   |          |        |                |
|---|----------|--------|----------------|
| Länge zw. den Loten                     | $L_{PP}$ | 232,9  | m              |
| Breite auf Spant                        | $B$      | 32,2   | m              |
| Tiefgang am vorderen Lot                | $T_f$    | 9,60   | m              |
| Tiefgang am Hauptspant                  | $T$      | 10,06  | m              |
| Tiefgang am hinteren Lot                | $T_a$    | 10,52  | m              |
| Verdrängung                             | $V$      | 49792  | m <sup>3</sup> |
| Gewichtsschwerpunkt bez. auf Hauptspant | $x_G$    | -22,16 | m              |
| Trägheitsradius                         | $k_{zz}$ | 50,6   | m              |
| Anzahl Propeller                        | $n_P$    | 1      |                |
| Propellerdurchmesser                    | $D$      | 6,3    | m              |
| Anzahl Ruder                            | $n_R$    | 1      |                |
| Ruderfläche                             | $A_R$    | 45     | m <sup>2</sup> |
| Profillänge                             | $c_m$    | 5,114  | m              |

Tab. 5-1

## 5.2 Simulationsrechnungen

Für dieses Containerschiff wurden Simulationsrechnungen nach den verschiedenen Ansätzen für die Berücksichtigung der Wassertiefe (siehe Kapitel 4) durchgeführt. Dabei wurden die in den PMM-Versuchen gemessenen Kräfte und die daraus ermittelten Koeffizientensätze für die 6 untersuchten Wassertiefen herangezogen. Sie bildeten auch die Basis für die Bestimmung der Potenzfunktionen sowie für die Ermittlung der Koeffizienten für die alternativen mathematischen Modelle.

Es hat sich gezeigt, daß die drei Ansätze für die Wassertiefenberücksichtigung unabhängig vom gewählten mathematischen Modell jeweils die gleichen Tendenzen bei den Ergebnissen aufweisen. Aus diesem Grund soll exemplarisch nur das modulare Modell genauer betrachtet werden. Hierbei ist zu bemerken, daß bei der Modellierung der Propellerkräfte keine Berücksichtigung der Maschinenanlage eingebaut wurde. Vielmehr wurden alle Berechnungen mit konstanter Drehzahl entsprechend 67.2 1/min durchgeführt. Dies entspricht einer Anlaufgeschwindigkeit von 12 kn bei einer dimensionslosen Wassertiefe von  $h/T=4.0$ .

### 5.2.1 Einzelsimulationen

Für jede untersuchte Wassertiefe aus dem Spektrum der durchgeführten Modellversuche (siehe Tabelle 3-5) können diskrete Simulationsrechnungen erfolgen. Dies wurde am Beispiel des 35°-Drehkreisversuchs durchgeführt. Die Abbildungen 5-1 bis 5-3 geben den Zeitverlauf der wichtigsten Zustandsgrößen wieder. Parameter der Darstellung ist die Wassertiefe, die offensichtlich das Bewegungsverhalten stark beeinflusst.

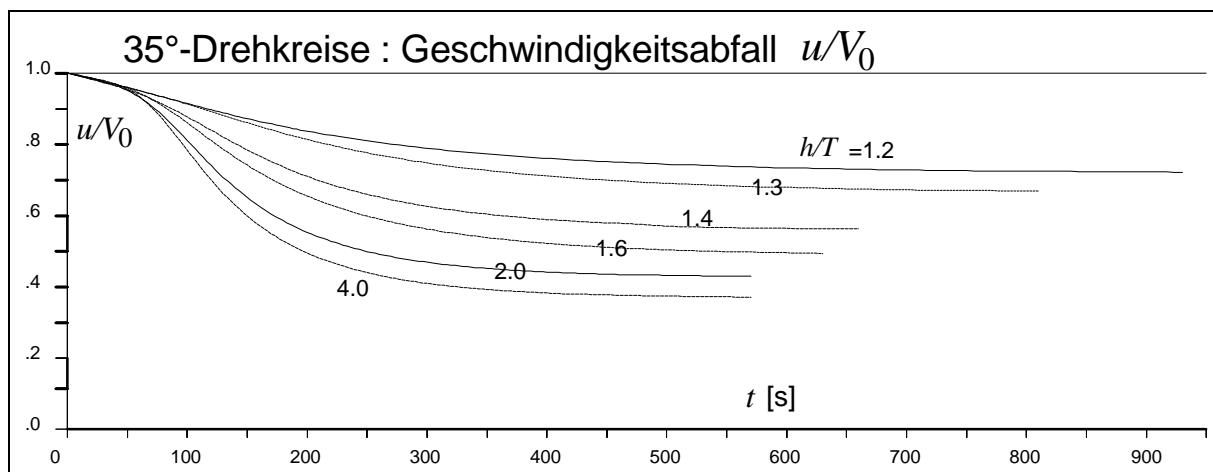


Abb. 5-1

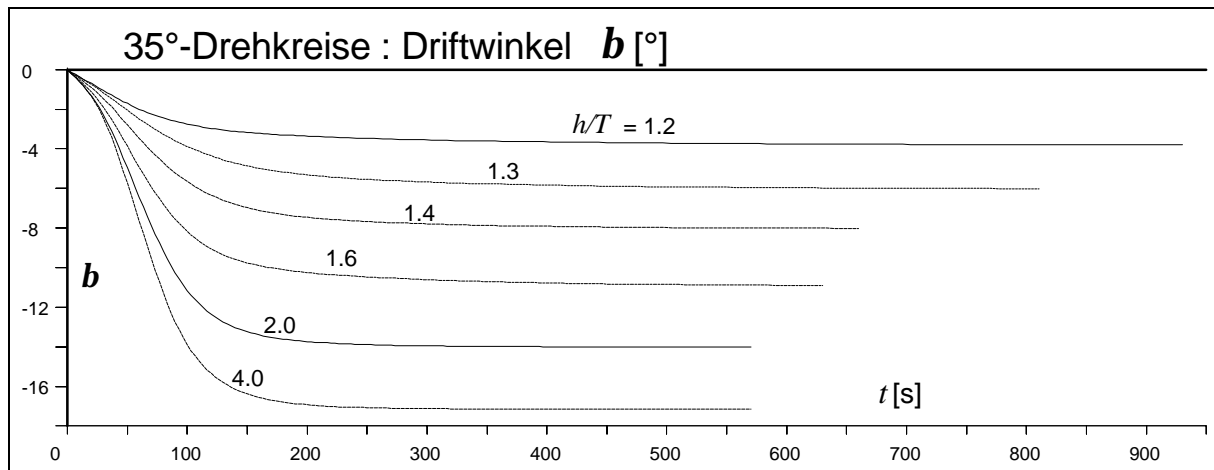


Abb. 5-2

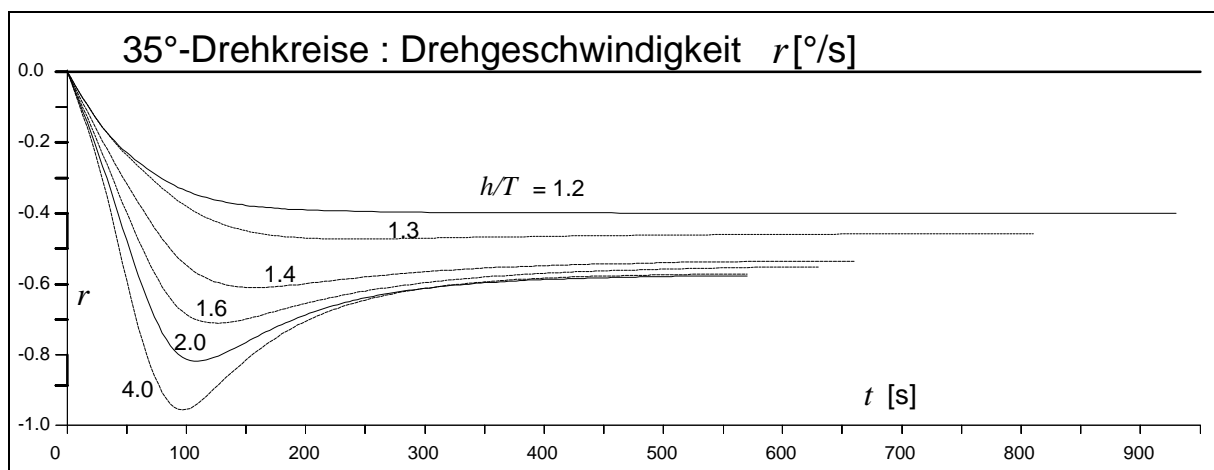


Abb. 5-3

Bei tiefem Wasser ist das Bewegungsverhalten intensiver, d.h. die Zustandsgrößen ändern sich stärker im zeitlichen Verlauf. Die Behinderung der Umströmung des Schiffes bei abnehmender Wassertiefe hat im Manöver eine Dämpfung des Bewegungsvermögens zur Folge, wie aus den Zeitverläufen klar abzulesen ist.

In Abbildung 5-4 ist für die 6 untersuchten Wassertiefen der Bahnverlauf wiedergegeben. Die "Ticks" an den Bahnlinien haben einen zeitlichen Abstand von 30 Sekunden, die Umriss des Schiffes von 2 Minuten. Der Einfluß des flachen Wassers ist für abnehmende Werte  $h/T$  deutlich an der Zunahme des Bahnradius und der Abnahme des Driftwinkels zu beobachten.

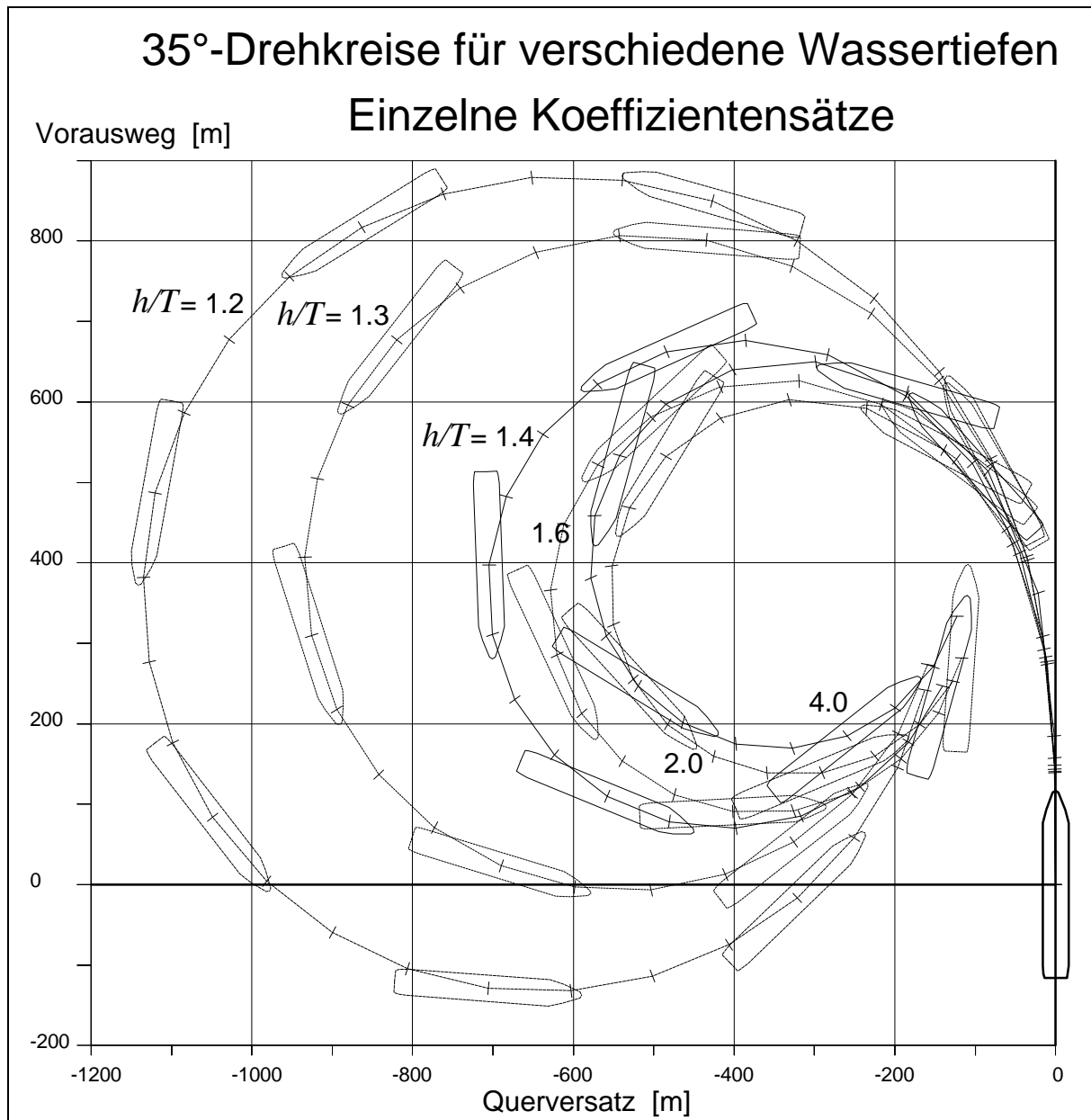


Abb. 5-4

Da die Koeffizienten für die einzelnen Wassertiefen aus voneinander unabhängigen Meßreihen bestimmt wurden, ist es möglich, daß die Simulationsergebnisse (komprimiert dargestellt in Form der Manöverkenngrößen) über die einzelnen Wassertiefen nicht über den die Wassertiefe beschreibenden Parameter straken. Dies ist für den Fall des Containerschiffes deutlich am Beispiel eines Z-Manövers mit 35° Ruderwinkel und 5° Schaltwinkel zu sehen. Beim Wert  $h/T=1.3$  bzw.  $T/h=0.769$  zeigt die Abbildung 5-5 für die Kenngröße "maximale Drehgeschwindigkeit" eine deutliche Abweichung vom ansonsten relativ homogenen Verlauf der Daten.

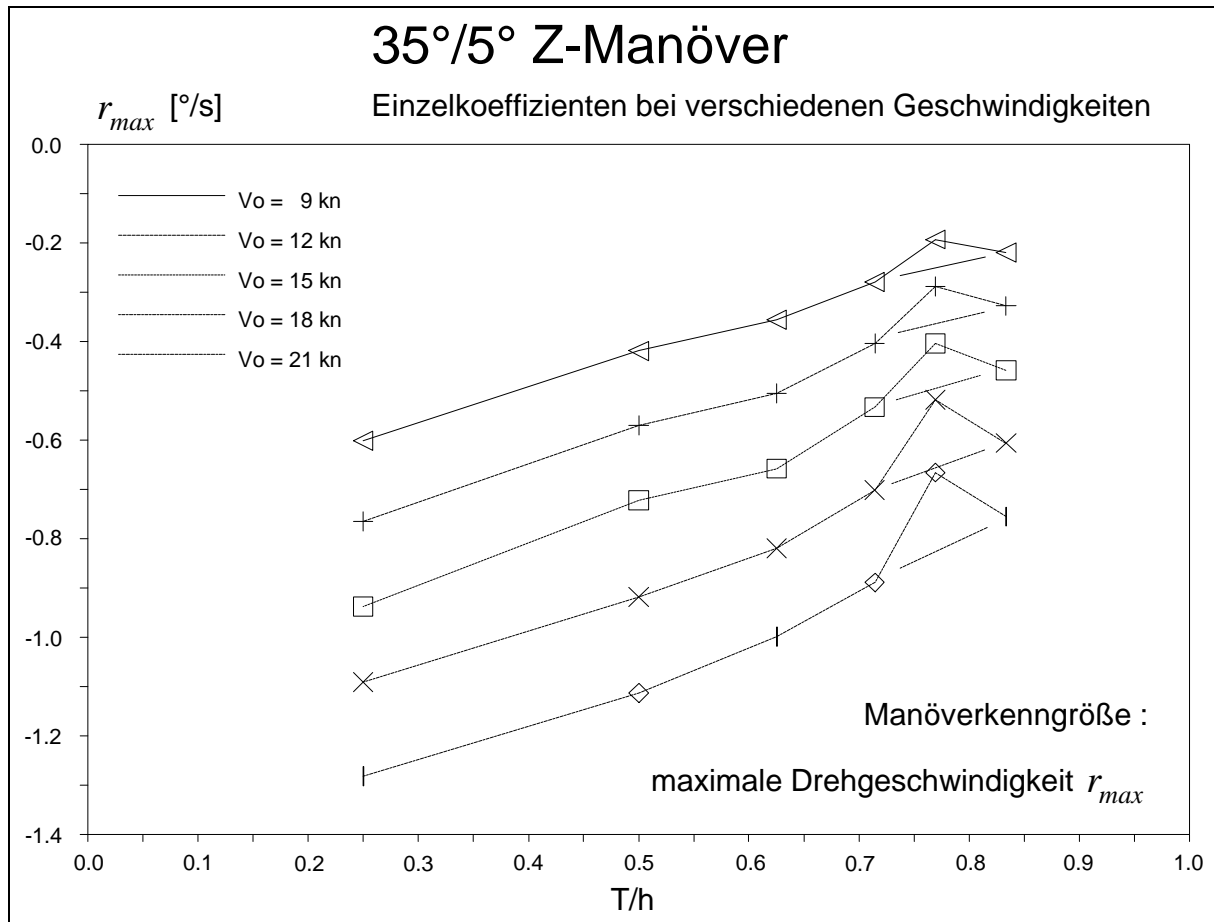


Abb. 5-5

Ein Vergleich mit den Koeffizienten in Abbildung 4-3 zeigt, daß für diese Wassertiefe (Symbol: Kreis) in einigen Fällen die Koeffizienten "springen". Diese Besonderheit ist verantwortlich für die mangelnde Qualität der Ergebnisse für die maximale Drehgeschwindigkeit. Leider konnte der Grund für diese Abweichung nicht genau aufgedeckt werden. Es ist jedoch möglich, daß dies durch Randbedingungen bei der Durchführung der Modellversuche verursacht wurde, denn die PMM-Messungen für die spezielle Wassertiefe  $h/T=1.3$  waren zeitlich von den anderen Versuchen durch eine mehrwöchige Pause getrennt. Die Erkenntnis, daß die Ergebnisse in diesem Fall zweifelhaft sind, erfordert den Verzicht auf diese Daten bei der nachfolgenden "Interpolation der Kräfte", um einen homogenen Verlauf der abgeleiteten Simulationsergebnisse sicherzustellen.

### 5.2.2 Interpolation der Kräfte

Die Bezeichnung "Interpolation der Kräfte" stammt aus der Programmierung des entsprechenden Moduls. Bei der Simulation für ein bestimmtes  $h/T$  werden für jeden Koeffizienten drei umgebende bzw. benachbarte Wassertiefen gesucht und für

diese jeweils die hydrodynamische Kraft berechnet als Produkt aus Zustandsgröße (bzw. dem funktionalen Zusammenhang einer oder mehrerer Zustandsgrößen) und Koeffizient. Dann erfolgt eine quadratische Interpolation für die Kraftwirkung des einzelnen Koeffizienten auf den Zielwert der vorgegebenen Wassertiefe. Aus rechentechnischen Gründen, die in Kapitel 2.2.1.1 dargestellt wurden, wird über die Variable  $T/h$  interpoliert.

Da die Koeffizienten vor der Interpolation jeweils mit der gleichen Zustandsgröße multipliziert werden, könnte diese auch ausgeklammert, und das Produkt erst nach der Interpolation des reinen Koeffizienten gebildet werden. In diesem Fall ist dann die Bezeichnung "Interpolation der Koeffizienten" formal richtig. Da aber nach den mathematischen Rechenregeln beide Verfahren gleichwertig sind, ist es unerheblich, ob die Bezeichnung "Koeffizient" oder "Kraft" verwendet wird.

Die folgenden Abbildungen 5-6 bis 5-9 enthalten eine Gegenüberstellung der Manöverkenngrößen eines  $35^\circ$ -Drehkreises aus der Simulation mit Einzelkoeffizienten bzw. Interpolation der Kräfte für verschiedene Wassertiefen. Die oben angesprochene Grund für die Bevorzugung von  $T/h$  als Abszisse wird im Verlauf der Kurven für den Drehkreisradius in Abbildung 5-6 besonders deutlich. Gerade der interessierende Bereich des extremen Flachwassers wird im unteren Diagramm (über  $h/T$ ) zwischen den Werten 1.0 und 1.5 stark gestaucht, wogegen das nahezu konstante

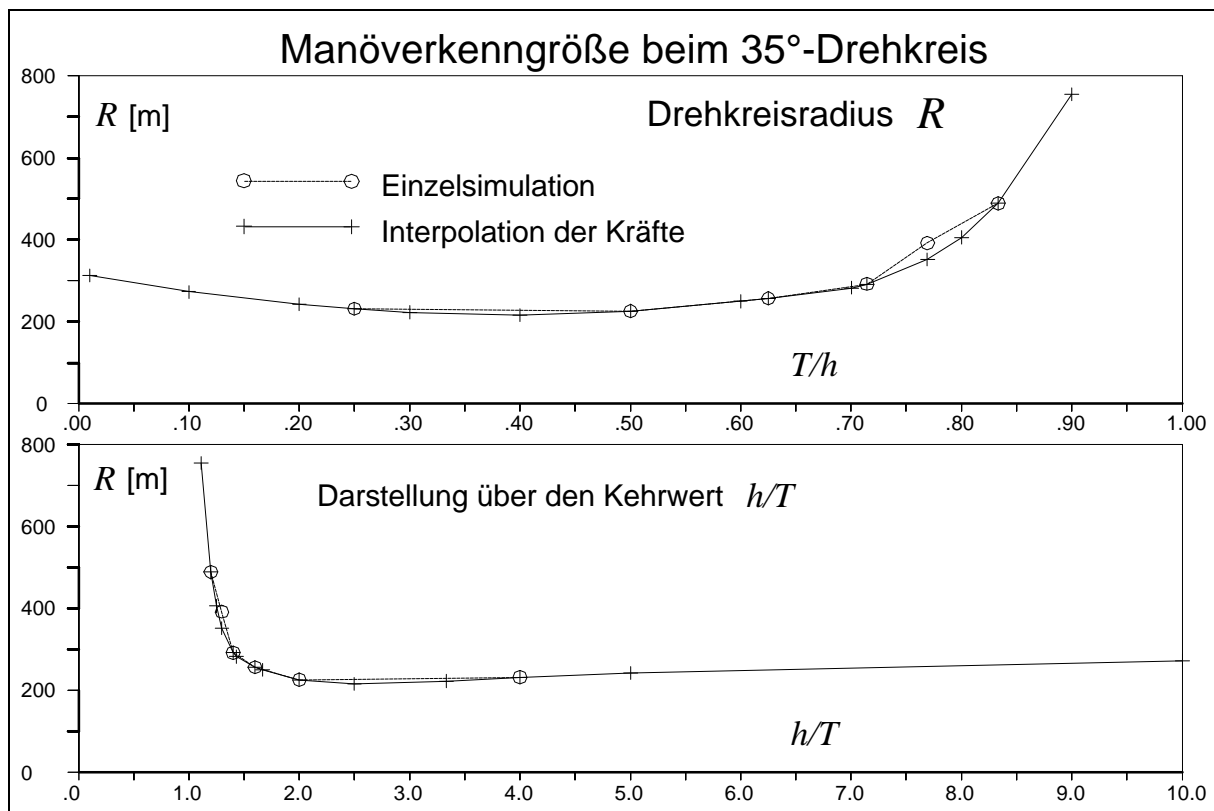


Abb. 5-6

## 5 Vergleichsrechnungen

Verhalten bei großen Wassertiefen unnötig gespreizt wird. Um überhaupt eine erkennbare Darstellung zu erzielen, wurde bei den über  $h/T$  aufgetragenen Ergebnissen auf den größten Wert  $h/T=100$  verzichtet.

Das sprunghafte Verhalten der Ergebnisse für  $h/T=1.3$  in Abbildung 5-5 ist auch bei der Darstellung des Geschwindigkeitsabfalls im stationären Zustand in Abbildung 5-7 wiederzufinden. Die gepunktete Vergleichslinie der Einzelsimulationen hat einen "Ausreißer" bei dieser Wassertiefe. Durch Vernachlässigung dieser Daten bei der Interpolation konnte ein plausiblerer Verlauf der Ergebnisse erzielt werden.

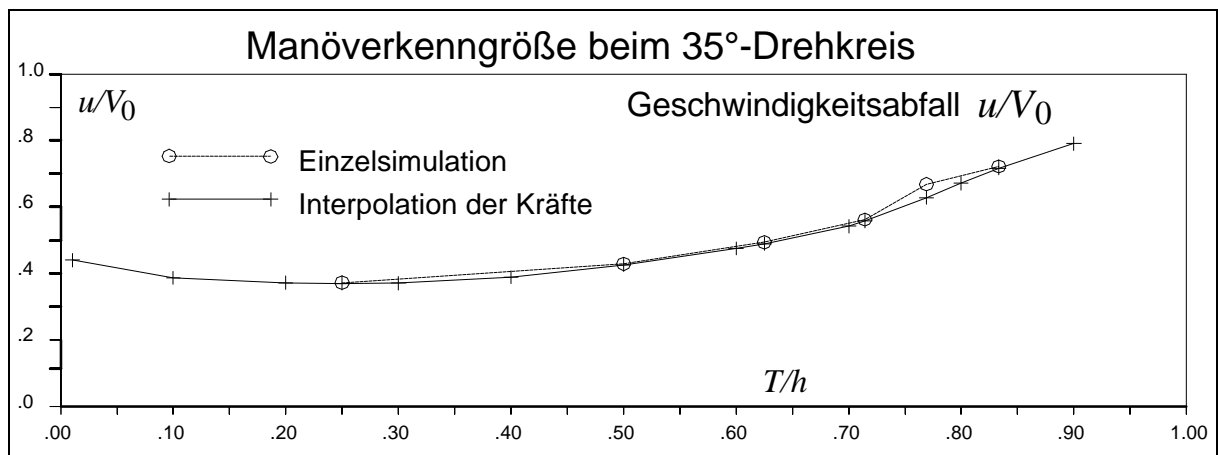


Abb. 5-7

Die folgenden Abbildungen 5-8 und 5-9 demonstrieren sowohl die Funktionsweise der Interpolation der Kräfte (bzw. Koeffizienten) als auch die Nachteile dieses Verfahrens. Die Drehgeschwindigkeit  $r$  in Abbildung 5-7 ändert sich im Bereich von  $T/h = 0.25$  bis  $0.714$  ( $h/T=4.0$  bis  $1.4$ ) nur unwesentlich. Bei der Extrapolation auf tiefes Wasser jedoch haben diese kleinen Unterschiede unübersehbare Konsequenzen, da der abzusehende asymptotische Verlauf der Kurven (horizontaler Auslauf zu unendlicher Wassertiefe hin) aufgrund der Charakteristik des Interpolationsverfahrens nicht erreicht wird.

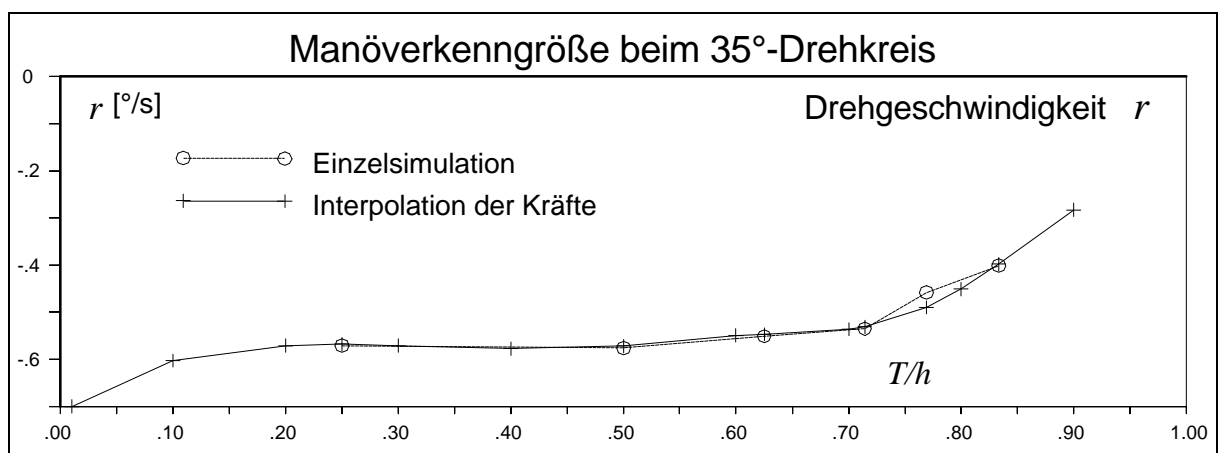


Abb. 5-8

Es darf natürlich nicht erwartet werden, die quadratische Interpolation in den Ergebnissen direkt wiederzufinden, da sie nur für die einzelnen Koeffizienten der Rumpfkraften angewendet wird. Die Extrapolation über die durch Einzelkoeffizienten gestützten Werte hinaus (bezogen auf die durch die Koeffizienten definierten Kraftkomponenten) folgt zwar einer quadratischen Parabel über  $T/h$  und beeinflusst die Simulationsergebnisse direkt, aber die am Ende eines langen Rechenganges herauskommenden Manöverkenngrößen brauchen diesem quadratischen Gesetz nicht zu folgen.

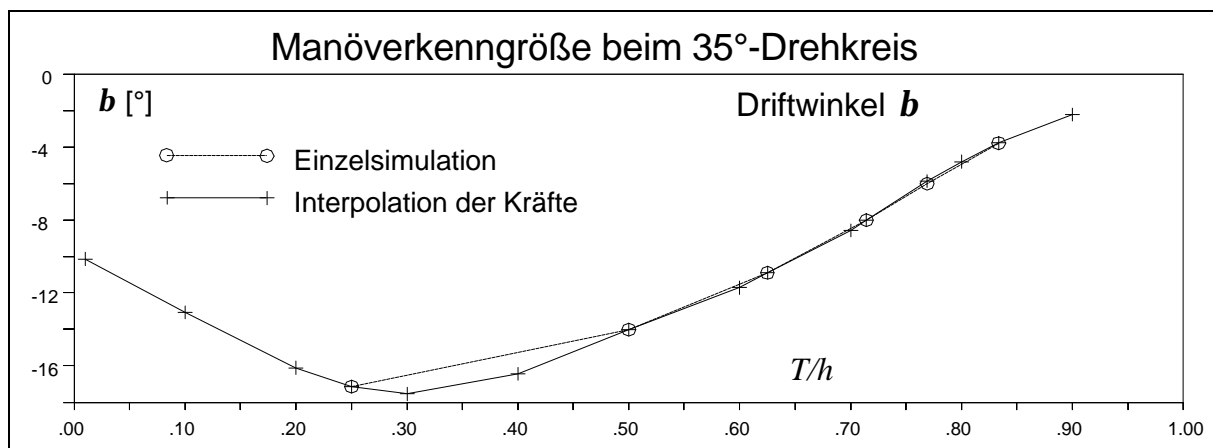


Abb. 5-9

Am Beispiel der Abbildung 5-9 wird deutlich, daß eine Extrapolation mit dem Verfahren der Interpolation der Kräfte äußerst kritisch zu bewerten und in der Praxis nicht zu empfehlen ist.

### 5.2.3 Potenzdarstellung für die Koeffizienten

Die Nachteile des im vorangegangenen Abschnitts anhand von Beispielen dargestellten Ansatzes zur Simulation von Schiffsmanövern für beliebige Wassertiefen können mit der schon in Kapitel 4.1.4 diskutierten Methode beseitigt werden. Der fundamentale Unterschied in der Vorgehensweise ist in den Begriffen "Interpolation" bzw. "Approximation" verankert.

Eine Interpolation gibt eine Rechenregel vor, nach der Zwischenpunkte zu einem gegebenen, durch Einzelpunkte dargestellten Zusammenhang ermittelt werden. Dabei werden die Stützstellen bei der Berechnung immer exakt wiedergegeben - der dazwischen oder (bei der Extrapolation nach dem gleichen Verfahren) außerhalb liegende Bereich jedoch wird in einer durch den Interpolationsalgorithmus vorgege-



benen Form erfaßt. Der Verlauf der Kurve aller Werte des Parameterbereichs ist durch die Vorgabe der Rechenregel stetig, aber nicht zwingend monoton (siehe Abbildung 4-1). Die Dominanz der einzelnen möglicherweise fehlerbehafteten Stützstellen kann zwischen den Punkten, aber besonders außerhalb des definierten Bereichs, im Falle der Extrapolation zu unerwünschten Ergebnissen führen.

Demgegenüber ist die Approximation nicht in der Lage, die Stützpunkte genau zu erfassen, da hier die Priorität auf der Einhaltung einer gegebenen Struktur der mathematischen Beschreibung der Kurve für alle Datenpunkte in einem Ansatz liegt. Es ist also bei Wahl einer geeigneten Funktion wie z.B.

$$y = c_0 + c_n \cdot x^n \quad (5.1)$$

auch die hier aus früher genannten Gründen erwünschte Monotonie automatisch erfüllt. Als Tribut an diese Forderung ist dafür die genaue Erfassung der Stützstellen auf die Minimierung der Fehlerquadrate reduziert worden. Als positives Resultat dieser Verlagerung der Prioritäten erzielt man jedoch einen strakenden Kurvenverlauf, der durch die Wahl der für alle Daten gültigen Approximationsformel vorgegeben ist.

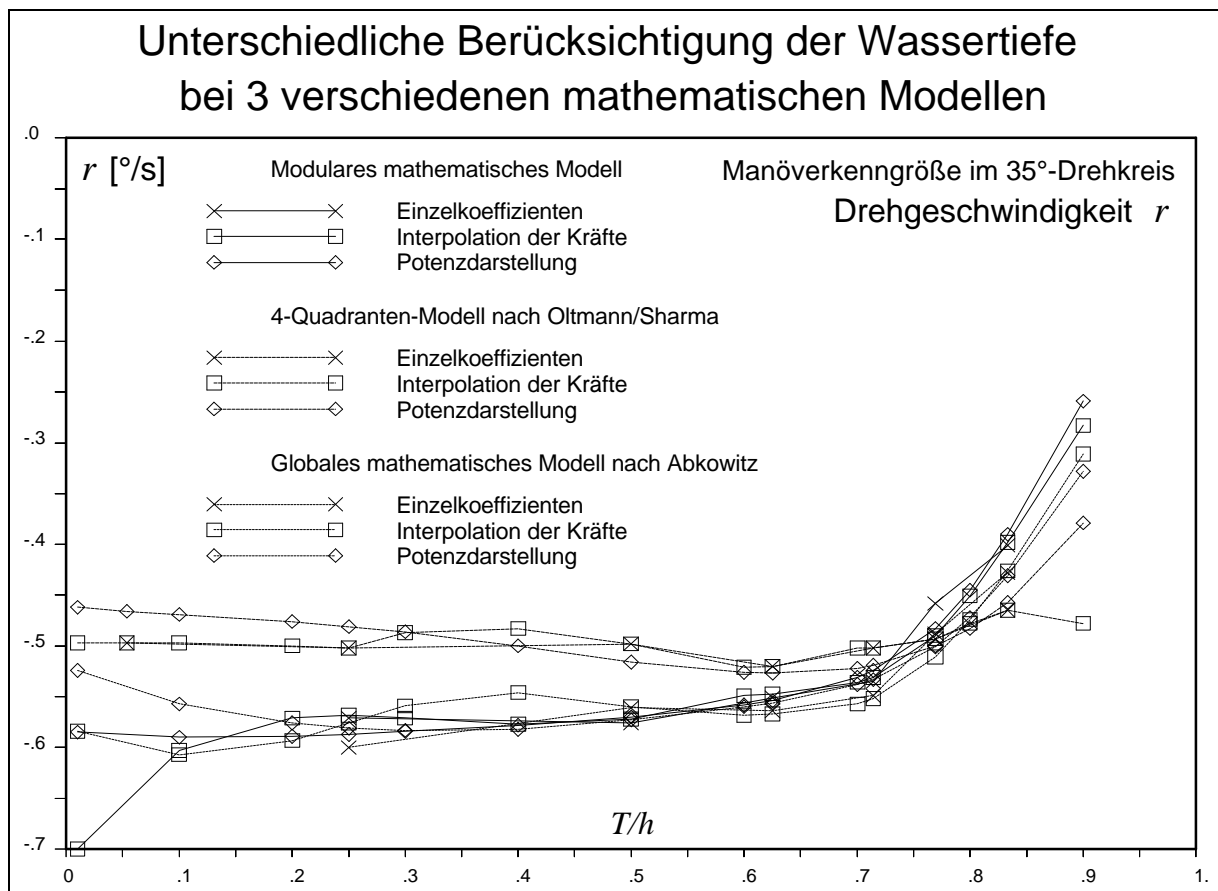
Auf eine gesonderte Darstellung von Simulationsergebnissen mit der Methode der Potenzdarstellung für die Koeffizienten wird an dieser Stelle verzichtet, da im folgenden Kapitel, dem Vergleich der verschiedenen Verfahren, die Resultate der Simulationen vorgestellt und diskutiert werden.

### 5.3 Gegenüberstellung der Verfahren

Die Manöverkenngrößen als Essenz der simulierten Bewegung bieten die beste Möglichkeit, die große Zahl der einzelnen Rechenergebnisse miteinander zu vergleichen. Für die Gegenüberstellung von 9 Verfahren (3 mathematische Modelle und dazu 3 Methoden zur Berücksichtigung der Wassertiefe) wurde jeweils das 35°-Drehkreismanöver berechnet. Die Bewegungsvariablen im stationären Endzustand der Simulationen für eine große Anzahl von Wassertiefen sind in den Abbildungen 5-10 bis 5-13 wiedergegeben.

Für alle Methoden zur Berücksichtigung der Wassertiefe wurden die 6 im Modellversuch untersuchten  $h/T$ -Werten durchgerechnet, für die Interpolation und die Potenzdarstellung zusätzlich noch die gesamte Skala des Parameters  $T/h$ , und

zwar von 0 bis 0,9 in Schritten von 0,1. Eine Ausdehnung über den Maximalwert 0,9 wäre unrealistisch, da ab diesem Wert mit einer Grundberührung zu rechnen ist.



Die erste der 4 Abbildungen, 5-10, zeigt das Verhalten der stationären Drehgeschwindigkeit  $r$  mit der für alle Darstellungen gültigen Legende. Die Einzelsimulationen lassen sich anhand der Kreuze identifizieren, die mit den Ergebnissen der Interpolation für die 6 Basis-Wassertiefen zusammenfallen. Die Ausnahme ist bei  $h/T=1.3$  zu finden, da für die Interpolation diese Daten ignoriert wurden (siehe auch Abbildung 5-5). Insgesamt zeigt sich für diese Kenngröße eine recht zufriedenstellende Übereinstimmung sowohl der mathematischen Modelle als auch der Verfahren zur Berücksichtigung der Wassertiefe. Ausnahmen sind bei den extrapolierten Werten für die Methode der Interpolation (quadratische Symbole) festzustellen.

Die Ergebnisse des 4-Quadranten-Modells (gepunktete Linien) weichen bei der stationären Drehgeschwindigkeit  $r$  von den anderen ab. Dies ist auf die behelfsmäßige Abschätzung der entsprechenden Koeffizienten zurückzuführen, die im vorliegenden Fall auf Simulationen mit dem modularen mathematischen Modell beruht, und zwar teilweise außerhalb des Gültigkeitsbereichs. Für die genaue Bestimmung der Beiwerte für das 4-Quadranten-Modell sind spezielle Versuche, wie z.B. Yaw-Versuche

## 5 Vergleichsrechnungen

im Stand erforderlich, die bei den PMM-Tests nicht durchgeführt wurden. Gerade dies ist vermutlich der Grund, warum speziell bei der Drehgeschwindigkeit besonders deutliche Unterschiede zu den anderen Simulationen festzustellen sind.

Über die 6 untersuchten Wassertiefen hinaus wurde für das 4-Quadranten-Modell ein an die hier verwendeten Koeffizientenstrukturen des 4-Quadranten-Modells angepaßter Datensatz aus den Ergebnissen der HSVA für Tiefwasser [Oltmann / Wolff, 1989] benutzt, um zu zusätzlichen Ergebnissen für die Einzelsimulationen zu gelangen. Dies erklärt das nur beim 4-Quadranten-Modell auftretende Kreuz bei  $T/h \cong 0.05$ . Die Interpolation berücksichtigt diese Wassertiefe, und die Daten hatten Eingang in die Bestimmung der Potenzdarstellung für dieses mathematische Modell.

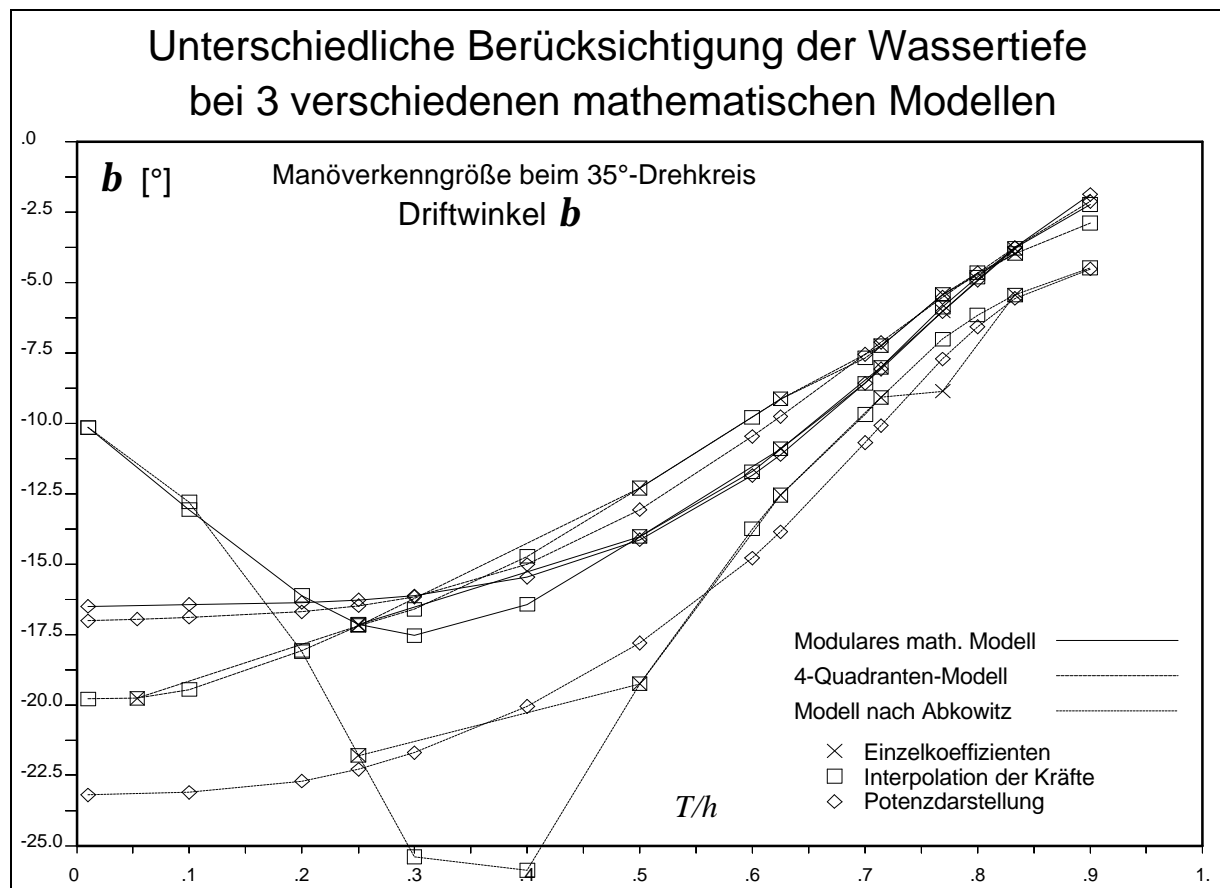


Abb. 5-11

Nach der Drehgeschwindigkeit  $r$  kommt dem Driftwinkel  $b$  im Drehkreis eine besondere Bedeutung zu, denn erst durch das seitliche "Abstützen" kann eine Drehkreisfahrt im Gleichgewicht der Kräfte realisiert werden. In Abbildung 5-4 wurde der signifikante Zusammenhang zwischen Driftwinkel und Wassertiefe an den skizzierten Schiffsumrissen deutlich. Diese Beobachtung kann nun in Abbildung 5-11 überprüft und bestätigt werden.

Während die Drehgeschwindigkeit sich nur bei extremem Flachwasser deutlich ändert, so ist der Driftwinkel einer (abgesehen vom Tiefwasserbereich) fast linearen Abhängigkeit vom Parameter  $T/h$  unterworfen. Die Kurven für das modulare mathematische Modell und das 4-Quadranten-Modell stimmen gut überein und lassen sich zum Wert  $b = 0^\circ$  für den Fall der Grundberührung extrapolieren. Die gestrichelten Linien für die Simulation nach Abkowitz passen nicht so recht ins Bild, was aber vor allen Dingen durch den extremen Verlauf der quadratischen Symbole für die Interpolation hervorgerufen wird. Während für die Potenzdarstellung bei der Simulation nach Abkowitz ein sehr homogener Verlauf der Manöverkenngröße erzielt wird, zeigen sich die Nachteile des Interpolationsverfahrens hier besonders deutlich.

Ein interessantes Detail, welches sich eher zufällig ergibt als mathematisch oder physikalisch begründbar ist, ist der extrapolierte Wert für den Driftwinkel des modularen Modells und des nach Abkowitz, der in beiden Fällen fast genau gleich mit ca.  $10^\circ$  berechnet wird, aber offensichtlich deutlich falsch ist.

Die dritte fundamentale Zustandsgröße, die bei diesem Vergleich betrachtet wird, ist die Längsgeschwindigkeit bzw. die Änderung von  $u$  gegenüber der Anlaufgeschwindigkeit  $V_0$ , dargestellt in Abbildung 5-12.

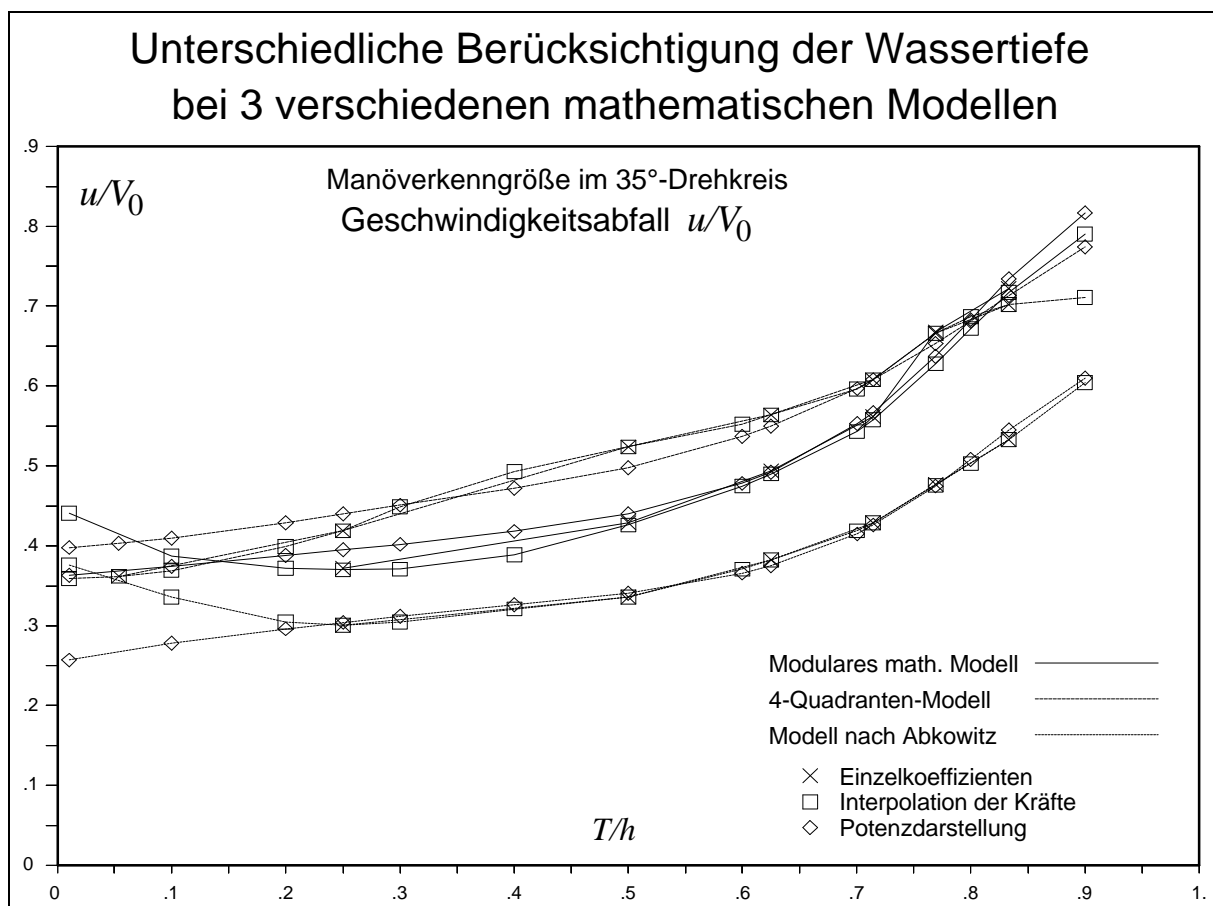


Abb. 5-12

Auch hier ist eine ziemlich gleichmäßige Veränderung der Ergebnisse mit der Wassertiefe festzustellen. Die einzelnen mathematischen Modelle liefern (bis auf die kritische Extrapolation) in sich sehr gleichmäßige Werte, die jedoch deutliche Abweichungen aufweisen. Hier ist der Vergleich nicht mehr so überzeugend wie beim Driftwinkel, da die Ergebnisse des globalen Modells und des 4-Quadranten-Modells vom modularen Modell im mittleren Bereich nach oben und unten jeweils um ca. 10% der Anlaufgeschwindigkeit abweichen. Die Qualität der Modellierung von Schub, Widerstand und Bremswirkung durch Ruder, Driften und Drehen ist für diese Differenzen verantwortlich. Eine detailliertere Analyse bzw. spezielle Modellversuche könnten helfen, diese Diskrepanz zu lösen.

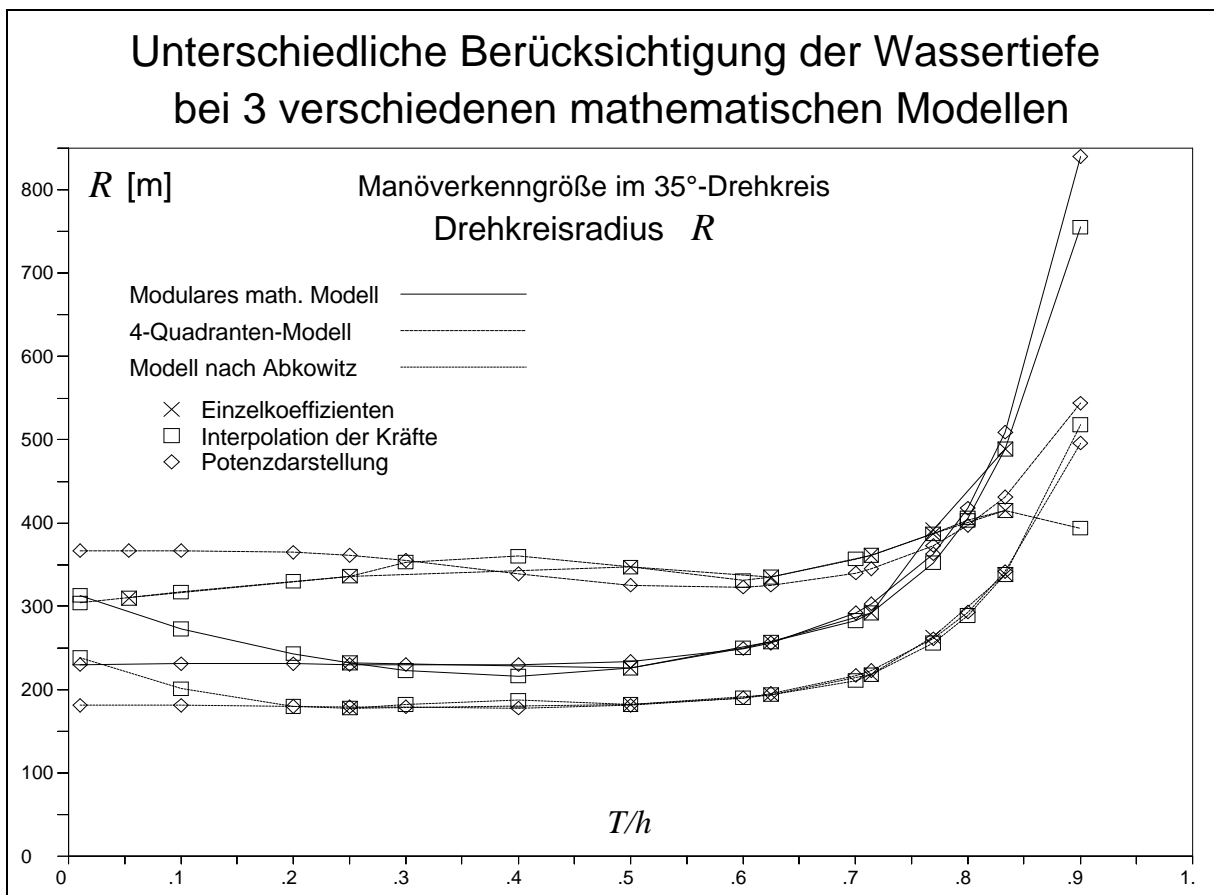


Abb. 5-13

Das letzte Diagramm für diesen Vergleich, Abbildung 5-13, kann auch aus den vorangegangenen Darstellungen für  $r$ ,  $\mathbf{b}$  und  $u/V_0$  abgeleitet werden. Der Drehkreisradius im stationären Zustand bestimmt sich nämlich als der Quotient

$$R = \left| \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{r} \right| \tag{5.2}$$

Aus diesem Grund sind in Abbildung 5-13 einige Charakteristika der Abbildungen 5-12 bis 5-10 wiederzufinden. Die deutliche Trennung der Simulationsmodelle in der Darstellung des Geschwindigkeitsabfalls, aber auch der starke Abfall der Drehgeschwindigkeit bei extremem Flachwasser finden sich beim Drehkreisradius wieder.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß im Prinzip jedes der 3 verschiedenen mathematischen Modelle in Verbindung mit den 3 unterschiedlichen Methoden zur Berücksichtigung der Wassertiefen in der Lage ist, die Änderung des Bewegungsverhaltens eines Schiffes bei sich ändernder Wassertiefe wiederzugeben. Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Methoden sind in der Tabelle 5-2 zusammengefaßt.

| <b>Methode</b>             | <b>Nachteile</b>  | <b>Vorteile</b>  |
|----------------------------|---|--|
| <b>Einzelkoeffizienten</b> | Nur spezielle Wassertiefen können simuliert werden.   | Die Simulationen geben die Meßergebnisse genau wieder.                         |
| <b>Interpolation</b>       | Die Interpolation kann bei ungenauen Koeffizientensätzen ausreißen. Die Extrapolation kann zu grob falschen Ergebnissen führen. | Die experimentell untersuchten Wassertiefen werden exakt wiedergegeben.        |
| <b>Potenzdarstellung</b>   | Die untersuchten Wassertiefen können im Vergleich mit den Einzelsimulationen nur angenähert wiedergegeben werden.               | Durch die Glättung bei der Approximation wird der Wassertiefeneinfluß homogen. |

Tab. 5-2

Eine Bewertung der Vor- und Nachteile führt zu dem Ergebnis, daß das Verfahren der Potenzdarstellung der Koeffizienten zu den glaubwürdigsten Resultaten führt, wenn das Kriterium bei der Beurteilung der Simulation das stetige Verhalten des Schiffes bei Veränderung der Wassertiefe ist. Die Genauigkeit der Annäherung an Einzelsimulationen kann durch erhöhte Sorgfalt bei der Versuchsdurchführung

gesteigert werden, so daß Ausreißer wie im Fall der untersuchten Wassertiefe  $h/T=1.3$  nicht mehr auftreten.

Es muß an dieser Stelle auch vor einer Überbewertung der erzielbaren Genauigkeit gewarnt werden. Wie in Kapitel 3.1.4 dargestellt wurde, ist durch die aufwendige Verarbeitungskette bei der Bestimmung der hydrodynamischen Koeffizienten die erreichbare Genauigkeit bescheiden. Gewisse Schwankungen im Verlauf der Koeffizienten über die Wassertiefe (siehe Abbildung 4-3) können nicht ausgeschlossen werden. Bei der Bildung der Potenzfunktionen nach Gleichung 4.11 wird zwar eine Glättung erreicht, aber nicht notwendig eine Verbesserung der Genauigkeit gegenüber der Einzelmessung.

Demgegenüber stehen die sinnvolle Repräsentierung des Tiefwasserfalles durch den Wert  $c_0$  und die einfache Erfassung des Flachwassereinflusses durch  $c_n$  und  $n$  bei der Verwendung des Potenzansatzes. Diese Vorzüge sind höher zu bewerten als die skizzierten Nachteile, denn die Bestimmung des Manövrierverhaltens auf flachem Wasser kann (ausgehend vom Tiefwasserfall) relativ einfach vorgenommen werden, wenn es gelingt, für die einzelnen Koeffizienten den Grad der Potenzfunktion und den ihre Steilheit (Öffnung) bestimmenden Faktor anzugeben.