

## Schiffsführungssimulation für die Auslegung von Hafenzufahrten und Hafenanlagen

von Carl-Uwe Böttner<sup>1</sup>

### Zusammenfassung

Die Schiffsführungssimulation hat sich in der Ausbildung von Nautikern bewährt und ist weltweit etabliert. In dem Maße in dem die Simulatoren weiter entwickelt wurden stieg deren Verwendung für andere Aufgaben neben Ausbildung und Training, unter anderem nautische Machbarkeits- und Befahrbarkeitsuntersuchungen. In der Möglichkeit eine solche Befahrung vollkommen risikolos durchführen zu können liegt die besondere Stärke dieser Methode. Dabei darf nicht übersehen werden, dass diese Fragestellungen abweichende Anforderungen sowohl an die Simulator-Ausstattung als auch an die an der Simulation beteiligten Personen stellen. Insgesamt überwiegen die Gemeinsamkeiten weshalb sich weltweit der Einsatz großer Schiffsführungssimulatoren von nautischen Schulen oder Trainingszentren für Befahrbarkeitsanalysen und Bemessungen von Wasserstraßen durchgesetzt hat. Einige Anforderungen unterscheiden sich jedoch so grundlegend, dass sie schon in der Vorbereitung einer solchen Simulation berücksichtigt werden müssen. In diesem Beitrag werden die Vorzüge und Schwächen der Schiffsführungssimulation für Bemessung von Hafenzufahrten und Hafenanlagen diskutiert.

### 1. Einleitung

Simulator-Stunden sind ein fester Bestandteil der Ausbildung an nautischen Schulen weltweit und verpflichtend gemäß der IMO Konvention STCW-95. Zum Nachweis der Eignung zur Ausbildung nach STCW werden die Schiffsführungssimulatoren von Klassifikationsgesellschaften zertifiziert. So listet zum Beispiel der Det Norske Veritas 164 Schiffsführungssimulatoren in der ganzen Welt auf, die nach deren Standard „2.14 Maritime Simulator Systems“ für Ausbildungs-Simulatoren zertifiziert sind. Um den heute verfügbaren, sehr hohen technischen Stand zu erreichen, war eine lange Entwicklung nötig. Bei Schiffsführungssimulatoren, wie bei Flugsimulatoren, wurde jede neue Entwicklung der Computertechnik aufgegriffen und genutzt, um die Realitätsnähe der Trainingsumgebung und der Trainingsszenarien immer weiter zu steigern. Bis in

beiden Fällen der angestrebte Grad der Güte der „Virtual Reality“ der Simulationsumgebung erreicht wurde, dass in der Simulation erlangte Erfahrung und Expertise anerkannt wurde. In der Seefahrt wie in der Luftfahrt gelten Simulator-Stunden als erlangte Berufspraxis. Ein wesentlicher Schritt auf dem Weg dorthin war die Einbindung von Echtgeräten in die Simulation und der Aufbau einer realen nautischen Brücke im Simulator. Die Tiefe der „Immersion“, des gefühlten Eindringens in das Trainings-Szenario ist der Schlüssel zur erfolgreichen Ausbildung an einem Simulator. Hierfür kamen die beeindruckenden Entwicklungen der Film- und Computerspielbranche gerade recht: die optische Darstellung der Umgebung des Schiffs hat dadurch heutzutage fotorealistischen Charakter und trägt gemeinsam mit der vollständigen integrierten nautischen Brücke wesentlich dazu bei, dass der Trainee die Situation als realistisch wahrnimmt.

Umgekehrt führt jede unerwartete oder unrealistische Störung in einer Simulation dazu, dass das Eindringen in das Szenario abbricht und durch das Bewusstsein, es handele sich „nur“ um eine Computeranimation ersetzt wird.

Mit steigender Qualität der Sichtsysteme, mit immer fotorealisterer Darstellung der Umgebung, Häuser, Kaianlagen, Hafenkräne, wurde es noch attraktiver mit einer Schiffsführungssimulation geplante Hafenanlagen und –Zufahrten schon zur Planungsphase be- und erfahren zu können.

In letzter Zeit werden verstärkt spezialisierte Simulatoren für den maritimen Bereich entwickelt und betrieben. Zum Teil handelt es sich um Erweiterungen für bestehende Anlagen, zum Teil auch um vollständig neue Konstruktionen. Verfügbar sind beispielsweise Simulatoren für das Manövrieren im Eis, für das Manövrieren mit Schleppern, für Hochsee-Bergemanöver, Kranen von Lasten an Bord, Operationen mit Hochseeeversorgungsschiffen, Brandbekämpfung, Schiff zu Schiff Leichterung auf See, dynamisches Positionieren, Seenotrettung (SAR), LNG Handling und so weiter.

Einige dieser spezielleren Aufgaben erforderten zusätzliche und/oder erweiterte Manövriermodelle um die simulierten Prozesse und Vorgänge realistisch abzubilden. Jede Weiterentwicklung schiffsdynamischer Modelle verbessert zugleich die Einsatzfähigkeit eines Schiffsführungssimulators zur Befahrbarkeitsanalyse und Bemessung einer Wasserstraße, Hafenzufahrt oder Hafengestaltung.

---

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg.  
[carl-uwe.boettner@baw.de](mailto:carl-uwe.boettner@baw.de)

## 2. Unterschiedliche Anforderungen an den Simulator für Ausbildung und Bemessung

Die Ausbildung mit dem Schiffsführungssimulator zielt darauf ab, theoretisches Wissen zu festigen und grundlegende nautische Kenntnisse und Fertigkeiten in praxisähnlicher Umgebung zu vermitteln und zu erfahren. Die Ausstattung einer Schiffsbrücke im Simulator wird daher so echt wie möglich gestaltet. Manche Trainingszentren bieten verschiedene Brücken mit den Echt-Instrumenten integrierter Navigationssysteme unterschiedlicher Hersteller. Für die nautische Ausbildung ist neben den Echtinstrumenten und einer realistischen Darstellung der Umgebung mit den Navigationshilfen, ein realistisches Fahrverhalten des jeweiligen Schiffstyps auf dem trainiert wird, wichtig. Das Schiff muss sich charakteristisch verhalten, nicht notwendiger Weise genau wie ein ganz Bestimmtes, da die Ausbildung nicht für ein spezielles Schiff erfolgt. Anders ist es bei der Weiterbildung innerhalb einer Reederei, wenn die Crews für die Schiffe der eigenen Flotte trainieren. Für Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse muss die Simulation hingegen die Verhältnisse der Wasserstraße und die Fahrdynamik und Reaktionen des in Frage kommenden Schiffs möglichst exakt wiedergeben.

Sowohl bei der Aus- und Weiterbildung, als auch bei Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse ist zunächst notwendig, dass das Ziel der Simulation allen Beteiligten bekannt und klar spezifiziert ist. Anschließend trennen sich die Anforderungen und das Herangehen für die unterschiedlichen Zielstellungen etwas. In der Vorbereitung der Simulation und Aufbereitung der zugrundeliegenden Daten ist es vor allem der Grad der Detailtreue und der Genauigkeit der Umgebungsdaten, der sich unterscheidet.

Abhängig von der Zielstellung werden dann die Szenarien der einzelnen Simulator-Läufe geplant und angelegt. Für Aus- und Weiterbildung werden hier im Wesentlichen die Sicht, der Wind, der Seegang und der beteiligte Schiffsverkehr festgelegt. Im Falle der Befahrbarkeitsanalyse eines bestehenden Reviers muss große Sorgfalt darauf gelegt werden, dass die reviertypischen Merkmale vollständig in der Simulation wieder gegeben werden. Das gilt für die Bathymetrie in dem die aktuellsten Tiefendaten aus Peilplänen eingebaut werden, für den typischen regionalen und lokalen Wind, der nach Möglichkeit anhand von Statistiken von lokalen Messstationen festgelegt wird, für den Seegang, für Landmarken, Sichtverhältnisse, regionale und lokale Strömungen. All diese Randbedingungen, die die Befahrbarkeit einer Wasserstraße wesentlich beeinflussen,

müssen festgelegt werden und sollten allen Beteiligten bekannt sein und deren Zustimmung finden.

Im nächsten Schritt muss das Manövrierverhalten der zu untersuchenden Schiffe abgestimmt werden. Für Aus- und Weiterbildung ist es dabei ausreichend, dass sich das Schiff seinem jeweiligen Typ entsprechend charakteristisch verhält und als solches erkannt und akzeptiert wird. Für die Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse oder zur Überprüfung und Festlegung wasserpolizeilicher Restriktionen, beispielsweise Geschwindigkeitsbeschränkungen, ist es notwendig, dass die Übereinstimmung des Fahrverhaltens im Simulator mit dem Schiff, das in dem Revier verkehrt und für das die Untersuchung im Wesentlichen durchgeführt wird, so hoch wie irgend möglich ist. Diese Abstimmung des Fahrverhaltens im Simulator gestaltet sich aufwändig und häufig schwierig, nicht zuletzt da es sehr selten Manöverdaten von Messfahrten zu einem Schiff zur Verfügung stehen, und wenn, dann sind diese in den allermeisten Fällen nicht bei Flachwasserbedingungen und in beengtem Fahrwasser durchgeführt worden.

Revierfahrt und Hafenzufahrten sind bis auf ganz wenige Ausnahmen geprägt von geringen Wassertiefen und seitlich beschränkten Fahrwassern. Schiffe, die in diesen Wasserstraßen verkehren interagieren mit dem Boden und den seitlichen Böschungen oder Wänden der Wasserstraße. Diese sogenannten Flachwassereffekte, die direkt und deutlich vernehmbar das Fahrverhalten eines Schiffes beeinflussen, sind nichtlinear und anspruchsvoll in der mathematischen Beschreibung, Modellierung und in der Abstimmung der Effekte in der Simulation für ein bestimmtes Schiff. Da derzeit noch nicht alle der Effekte mit ausreichender Modelltiefe in den Simulatoren zur Verfügung stehen, liegt es meist an der Erfahrung und Findigkeit des Betreibers eines Simulators, hier die Einstellungen und Abstimmungen so zu wählen, dass das simulierte Fahrverhalten des Schiffes möglichst nah an die Realität heran kommt.

Die oben genannten Böschungen am Rand eines Fahrwassers führen bei Annäherung mit einem Schiff zu einem Interaktionseffekt, der gemeinhin Banking genannt wird (engl. „Bank Effect“) und zu gefährlichen Situationen mit Unfällen führen kann, wenn Schiffe mit höherer Geschwindigkeit zu nahe an der Böschung entlang fahren. Hierbei baut sich hydraulisch eine anziehende Kraft in Richtung zur Böschung auf, die etwas achterlich am Schiff angreift und zu einer Annäherung des Hecks und einem abdrehen des Bugs von der Böschung weg führt. Bei weiterer Annäherung kommt es meist zu einem abrupten „Absetzen“, das in engen Fahrwas-

sern mit dichtem Schiffsverkehr entweder zur unabwendbaren Kollision mit der gegenüberliegenden Böschung oder mit anderen Schiffen führt. Dieser Effekt hat offensichtlich eine hohe Bedeutung bei der Festlegung ausreichender Fahrwasserbreiten oder zulässiger Höchstgeschwindigkeiten. Er muss daher im Simulator sehr sorgfältig eingestellt und abgestimmt werden, was besonders für ungewöhnliche Böschungsformen schwierig ist, da es so gut wie keine Vergleichswerte und wenig Anhaltspunkte für eine Abschätzung anhand bekannter Werte gibt.

Vor 25 Jahren wurden zwei Berichte veröffentlicht, die Empfehlungen zum Aufsetzen und Durchführen von Schiffsführungssimulationen zur Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse von Hafenzufahrten und Hafengestaltung zusammenstellten. Der eine wurde von einer Gruppe aus Spezialisten in den USA [Webster (ed.) (1992)] und der andere von einer internationalen Arbeitsgruppe [PIANC (1992)] erstellt. Aktuell arbeitet die Arbeitsgruppe 171 der PIANC an einem weiteren Report, der den Entwicklungen und Erfahrungen des vergangenen Vierteljahrhunderts Rechnung tragen soll, in dem dieser die genannten Berichte ergänzt und aktualisiert. Dieser Report soll als Handbuch zur Schiffsführungssimulation für Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse dienen.

### 3. Das Human Element in der Schiffsführungssimulation

Grundsätzlich ist das Human Element der Anlass und Grund für die Verwendung eines Schiffsführungssimulators bei der Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse. Andernfalls reichten rein geometrische Betrachtungen und ingenieurmäßigen Abschätzungen der wirkenden Kräfte aus, um über eine sichere Befahrbarkeit zu entscheiden.

Neben dieser grundlegenden Funktion spielt das Human Element in allen Bereichen einer Simulation eine Rolle. Ein elementar wichtiger Teil einer Simulation für Bemessung oder Befahrbarkeitsanalyse ist die Prüfung und Abnahme der Umweltbedingungen und der Fahrdynamik der Schiffe, das „Set-up“ der Simulation, das alle weiteren Ergebnisse wesentlich bestimmt. Gewöhnlich entscheiden erfahrene Nautiker, meist Lotsen, die das zu untersuchende Revier sehr gut kennen, durch Vergleich mit Erwartungen aus ihrer Erfahrung, über die Akzeptanz der Einstellungen. Die Erfahrung und Mitarbeit der revierkundigen Nautiker hat offensichtlich eine sehr hohe Bedeutung für die Qualität des zu erzielenden Ergebnisses.

Ebenfalls sehr bedeutend ist die Vertrautheit des Betreibers des eingesetzten Simulators mit seiner

Anlage. Häufig muss er Wege kennen oder finden, um in der Simulation einen bestimmten Effekt oder ein bestimmtes Verhalten so einzustellen, wie es die revierkundigen Nautiker beschreiben, obwohl es mit dem Konzept des Simulator-Herstellers nicht vorgesehen ist.

Häufig ist es sehr schwer, die üblicherweise auftretende Lücke zwischen den Anforderungen an die Realitätsnähe der Simulation und der tatsächlich zur Verfügung stehenden Modelltiefe der mathematisch physikalischen Modellierung zu schließen. Eine sorgfältig abgestimmte und eingestellte Simulation, besonders im Zusammenspiel mit der annähernd fotorealistischen Darstellung der Szenerie, die heutige Sichtsysteme bietet, führt bei den Anwesenden, aber nicht direkt beteiligten Teilnehmern, schnell zu dem Eindruck einer perfekt simulierten Physik und zu unrealistischen und überzogenen Erwartungen an die Möglichkeiten und die Aussagekraft einer Simulation. Auch bei den Nautikern am Fahrstand führen die fotorealistische Darstellung und die aufwändige Ausstattung der Instrumentierung der Brücke zu dem Eindruck sehr hoher Realitätsnähe, dass sie im Revier schwierige Manöver bisweilen als eher ungefährlich und weniger Anspruchsvoll einschätzen, da sie in der Simulation leicht durchführbar waren.

Der wichtigste und zugleich schwierigste Teil bei der Überprüfung einer geplanten Hafenzufahrt oder Hafenanlage besteht in der Auswertung der in der Simulation gemachten Erfahrungen. Hierzu ist es notwendig sorgsam nach jedem Lauf die ersten Eindrücke zu sichern und die gemachten Erfahrungen in einem ausreichend ausgedehnten Auswertungsgespräch unter Anwesenheit aller Beteiligten zusammenzutragen. Die abschließende Bewertung kann nur bei Kenntnis aller gemachten Erfahrungen unter den verschiedenen untersuchten Bedingungen erstellt werden. Hierbei muss sorgfältig zwischen individueller Erfahrung und persönlichen Meinungen und Befindlichkeiten getrennt werden, um die angestrebte offene, ehrlich-neutrale und belastbare Einschätzung der nautischen Situation in der geplanten Wasserstraße zu gewinnen.

Über die Qualität und den Erfolg einer solchen sehr speziellen Schiffsführungssimulation entscheidet demnach neben der fachkundigen Handhabung der Simulator-Anlage der sorgfältige und konzentrierte Einsatz jedes Beteiligten an der Untersuchung. Besonders die Lotsen oder Nautiker am Fahrstand sind gefordert jeden Lauf in der Simulation auf Basis ihrer Erfahrungen und Kenntnisse so objektiv wie möglich einzuschätzen und zu bewerten.

## 4. Schlussfolgerung und Ausblick

Große Schiffsführungssimulator-Anlagen mit sogenannten „full mission bridges“, also vollständig ausgestatteten integrierten Brücken mit allen nautischen Geräten und Hebeln, die sich auch an Bord des jeweiligen Schiffstyps befinden, sind das derzeit beste verfügbare Werkzeug um eine Planungsvariante bei Um- oder Neubauten von Wasserstraßen, Hafenzufahrten oder Hafenanlagen auf Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Seeverkehrs zu überprüfen. Der derzeitige verfügbare Stand an mathematisch physikalischen Manövriermodellen zusammen mit annähernd foto-realistischer Darstellung der Umgebung macht die Überlegenheit der Schiffsführungssimulation aus, solange allen Beteiligten die Grenzen und Vereinfachungen einer Simulation gegenwärtig sind und diese bei der Bewertung der Ergebnisse der Simulation berücksichtigt werden.

Der Bericht der PIANC Arbeitsgruppe 171 wird den Stand der Technik verfügbarer Schiffsführungssi-

mulatoren für die Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse zusammenfassen und zusätzlich Empfehlungen für sinnvoll erachtete Weiterentwicklungen geben. Dies betrifft sowohl die wissenschaftliche Forschung im Bereich der Hydrodynamik als auch die Ergänzung von Soft- und Hardware um weitere Funktionalitäten in den Schiffsführungssimulatoren.

### Literatur

PIANC (1992) Capability of ship manoeuvring simulation models for approach channels and fairways in harbours. Report of Working Group No. 20 of Permanent Technical Committee II. Brussels, Belgium: General Secretariat of PIANC (Supplement to Bulletin no. 77 (1992))

Webster, W.C. (ed.) (1992), Shiphandling simulation. Application to waterway design. National Research Council (U.S.). Washington, D.C: National Academy Press. Online available: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=14163>.