



Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.

DST – Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

**Entwicklung standardisierter Anforderungen an Fahrsimulatoren als
Schulungs- und Trainingsanlage für Binnenschiffer**

Bericht 2087

Juni 2013

von

Dipl.-Ing. Klaus Bieker
Dr.-Ing. Andreas Gronarz
Dr.-Ing. Rupert Henn

mit Beiträgen von

Dipl.-Naut. Kapitän Olaf Kammertöns
Prof. Dr.-Ing. Bettar Ould el Moctar
Dipl.-Naut. Kapitän Hermann v. Morgenstern
Dipl.-Ing. Hans-Günter Portmann

Projektleiter:

Dipl.-Ing. Berthold Holtmann

Direktor:

Prof. Dr. Paul Engelkamp

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.
DST – Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

Oststraße 77
47057 Duisburg
Deutschland / Germany

Tel.: +49 (0)203 99369-0
Fax.: +49 (0)203 361373
E-Mail: dst@dst-org.de
www.dst-org.de



Mitglied der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen
"Otto von Guericke" e.V.



Institut an der Universität Duisburg-Essen



Mitglied der International Towing Tank Conference



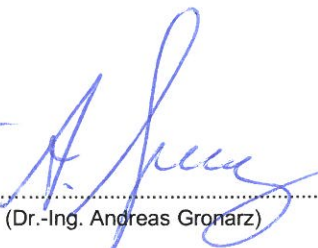
Mitglied des Center of Maritime Technologies e.V.

Entwicklung standardisierter Anforderungen an Fahrsimulatoren als Schulungs- und Trainingsanlage für Binnenschiffer

Duisburg, im Juni 2013

Bearbeiter:


.....
(Dipl.-Ing. Klaus Bieker)

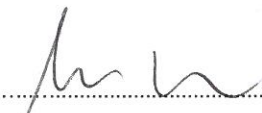

.....
(Dr.-Ing. Andreas Gronarz)


.....
(Dr.-Ing. Rupert Henn)

Projektleiter:


.....
(Dipl.-Ing. Berthold Holtmann)

DST – Entwicklungszentrum für
Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.


.....
(Prof. Dr. Paul Engelkamp)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 16491 N der Forschungsvereinigung Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V., Oststr. 77, 47057 Duisburg wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Inhalt

Zusammenfassung	7
1. Einleitung	9
1.1 Anlass	9
1.2 Allgemeine Beschreibung von Fahrsimulatoren der Binnenschifffahrt	10
1.3 Methodischer Ansatz	14
2. Einsatzbereiche und Einsatzarten	19
2.1 Vorbemerkung	19
2.2 Einsatzbereiche	20
2.2.1 Bereich A: Ausbildung zum Binnenschiffer	20
2.2.2 Bereich B: Erwerb von Befähigungszeugnissen/Patenten	22
2.2.3 Bereich C: Weiterführende Trainingsprogramme für Patentinhaber/Schiffsführer	26
2.3 Anforderungen an Schiffsführungssimulatoren (grundlegende Überlegungen)	27
2.3.1 Fahrstand/Brücke	27
2.3.2 Sichtsystem	28
2.3.3 Lehrer-Arbeitsplatz (Instruktorstation)	28
2.3.4 Demonstrationsraum (Monitoring/Briefing/Debriefing)	28
2.3.5 Möglichkeiten zur Nachrüstung bzw. Erweiterung	28
2.3.6 Fahren eines Schiffes	28
2.3.6.1 Aktives Fahren eines Schiffes ohne Verkehrsbezug	28
2.3.6.2 Aktives Fahren eines Schiffes im Verkehr unter Beachtung der Verkehrsregeln	29
2.3.6.3 Streckenfahrt	29
2.3.6.4 Radarfahrt	30
2.3.6.5 Zielgruppen spezifische Ansprüche	30
2.3.6.6 Fazit	31
3. Simulationstechnik	33
3.1 Konzeption und Ausstattung	34
3.1.1 Räumlich konzeptionelle Gestaltung der Simulationsanlage	34
3.1.2 Ausstattung der Fahrstände	37
3.2 Simulationskern	38
3.2.1 Fahrdynamik Eigenschiffe	39
3.2.2 Verkehrsschiffe	65
3.3 Ausgabesysteme	71

3.3.1	Sichtsystem	71
3.3.2	Audio-System	79
3.3.3	Radarsimulation	84
3.4	Datenbanken	89
3.4.1	Datenbanken für fahrdynamische Berechnungen	90
3.4.1.1	Schiffsdatenbank	90
3.4.1.2	Gewässerdatenbank	91
3.4.2	Sichtdatenbank	97
3.4.2.1	Feststehende Objekte	97
3.4.2.2	Bewegliche Objekte	100
3.4.2.3	Treibende Objekte	103
3.4.3	Radardatenbank	105
3.4.4	Audiodatenbank	107
3.5	Weitere Ausstattungsmerkmale	107
3.5.1	Wetterbedingungen	108
3.5.1.1	Seegang	108
3.5.1.2	Niederschlag	109
3.5.2	Kartendarstellung	110
3.5.3	Betriebsmodi	111
3.5.3.1	Sprachoptionen	111
3.5.3.2	Anzahl parallel laufender Simulationen (Übungen)	111
3.5.4	Speichermöglichkeiten / Replay	112
3.5.5	Schnittstellen	116
3.6	Prüfverfahren der Fahrdynamik	124
3.6.1	Allgemeine Definitionen	125
3.6.2	Grundgleichungen der Fahrdynamik	125
3.6.3	Fahrdynamische Eigenschaften von Schiffen	126
3.6.4	Prüfung des mathematischen Modells	127
3.6.5	Validierung	127
3.6.5.1	Geradeausfahrt in beschränkten Gewässern	128
3.6.5.2	Stoppmanöver	130
3.6.5.3	Z-Manöver	131
3.6.5.4	R-Manöver	132
3.6.5.5	Drehkreismanöver	133
3.6.5.6	Banking-Effekte	134
4.	Qualitätsanforderungen	135
4.1	Vorbemerkung	135

4.2	Differenzierung nach Einsatzarten	136
4.2.1	Steuern und Manövrieren	137
4.2.2	Fahren im Verkehr	138
4.2.3	Streckenfahrt/Navigieren	140
4.2.4	Radarfahrt	141
4.2.5	Bewertungsmatrix	141
4.3	Ergänzende Hinweise	145
5.	Zusammenfassung und Ausblick	149
6.	Abkürzungsverzeichnis	153
7.	Literatur	155

Zusammenfassung

Innerhalb dieses Forschungsvorhabens wurden Qualitätsanforderungen an Fahrsimulatoren als Schulungs- und Trainingsanlagen für Binnenschiffer entwickelt.

Zunächst wurden systematisch Einsatzarten definiert, die sich – mangels institutioneller Regelungen – an möglichen Inhalten und Zielgruppen eines Fahrtrainings am Simulator orientieren.

Im nächsten Schritt wurden die technischen Leistungsmerkmale von Fahrsimulatoren definiert und in verschiedenen funktionalen Bereichen gruppiert. Für jedes Leistungsmerkmal wurden drei Klassen definiert, je nachdem ob die Ausprägung geringen, mittleren oder hohen Ansprüchen genügt. Außerdem wurden jeweils Methoden und Verfahren aufgezeigt, mit denen das Vorhandensein bzw. die Ausprägung des entsprechenden Leistungsmerkmals geprüft werden kann.

Das zentrale Ergebnis der Untersuchung besteht in der Zuordnung der für die jeweiligen Einsatzarten erforderlichen Ausprägungen der Leistungsmerkmale. Damit werden für jede Einsatzart die technischen Qualitätsanforderungen definiert. Die ausgewiesenen Ergebnisse wurden intensiv im Projektbegleitenden Ausschuss beraten und abgestimmt und stellen deshalb eine von Experten erarbeitete Empfehlung dar.

Der Qualität der Simulation der Fahrdynamik kommt eine herausgehobene Stellung zu: Mängel in diesem Bereich beeinträchtigen nicht nur die Übertragbarkeit der am Simulator erworbenen Fähigkeiten, sondern beinhalten im Extremfall die Gefahr, dass sich falsche Verhaltensmuster verfestigen. Aus diesem Grunde wurde ein gesonderter Abschnitt aufgenommen, der sich mit den Möglichkeiten einer vertiefenden Qualitätsprüfung der fahrdynamischen Simulation befasst, mit der die Genauigkeit der Simulation quantifiziert werden kann. Diese setzt vertieftes hydrodynamisches Fachwissen voraus.

Die erarbeiteten Empfehlungen sollen primär eine Orientierungshilfe für verschiedene Nutzergruppen bieten, gleichzeitig können sie als Grundlage und Vorbereitung für eine Standardisierung bzw. Normung herangezogen werden. Auch können die Projektergebnisse die Grundlage bilden für eine zu erarbeitende Zertifizierung von Fahrsimulatoren für die Binnenschifffahrt.

Schließlich haben die Arbeiten und Recherchen zu diesem Projekt gezeigt, dass auf verschiedenen Gebieten weitere Entwicklungsarbeiten zu leisten sind, um den Anforderungen für eine umfassende Nutzung von Fahrsimulatoren in der Binnenschifffahrt gerecht zu werden. Vorrangig betrifft dies die fahrdynamische Simulation für das Befahren von Schleusen und die Modellierung der Wellenbildung.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Das IGF-Vorhaben 16491 N der Forschungsvereinigung Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V., Oststr. 77, 47057 Duisburg wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

1. Einleitung

1.1 Anlass

Der wesentliche Vorteil von Fahrsimulatoren ist darin zu sehen, dass im Vergleich zur Praxis eine hohe Ereignisdichte geschaffen werden kann, die es erlaubt, in einer relativ kurzen Zeitspanne ohne Risiko für Personen, Sachen und Umwelt die unterschiedlichsten Fahrsituationen – einschließlich selten vorkommender Gefahrensituationen – trainieren zu können. Mit Hilfe von Fahrsimulatoren kann deshalb die Effizienz der Aus- und Weiterbildung gesteigert werden, gleichzeitig kann ein höheres Sicherheitsniveau erreicht werden.

In verschiedenen Bereichen werden diese Vorteile bereits seit vielen Jahren genutzt. So stehen Schulung und Training an Fahrsimulatoren bei der Luftfahrt oder der Seeschifffahrt im Pflichtprogramm der Ausbildung und sind fester Bestandteil bei der Qualitätssicherung des Navigationspersonals. Auch in der Binnenschifffahrt wird in den letzten Jahren ein vergleichbarer Einsatz von Fahrsimulatoren diskutiert. Seit 2008 ist ein spezifischer Flachwasserfahrsimulator am Schiffer-Berufskolleg RHEIN in Duisburg-Homberg in Betrieb und wird dort zur Unterstützung im Rahmen der berufsschulischen Ausbildung sowie für Fortbildungsmaßnahmen des Arbeitgeberverbandes der deutschen Binnenschifffahrt (AdB) eingesetzt. In den Niederlanden liegen ebenfalls Erfahrungen mit dem Einsatz so genannter Schiffsführungssimulatoren für die Binnenschifffahrt vor.

Allerdings steht der Einsatz von Fahrsimulatoren in der Aus- und Weiterbildung von Binnenschiffern erst am Anfang und ist noch nicht geregelt. Die Notwendigkeit entsprechender Regelungen wurde jedoch inzwischen auf europäischer Ebene erkannt. Erste Ergebnisse von zu diesem Thema eingerichteten Arbeitsgruppen, vor allem bei der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR), liegen als interne Diskussionspapiere bereits vor.¹

Ein wesentliches Problem für eine umfassende Integration von Fahrsimulatoren in die Aus- und Weiterbildung in der Binnenschifffahrt resultiert aus der Komplexität der Simulationstechnik, die zu Unsicherheiten in der Beurteilung der Qualität und Leistungsfähigkeit solcher Simulationsanlagen führt. Um die Potenziale dieses neuen Mediums voll zu nutzen, kommt es deshalb entscheidend darauf an, diese Unsicherheiten zu beseitigen.

Ein wichtiges Instrument, um den Akteuren die erforderliche Sicherheit zu verschaffen und eine Anpassung der relevanten Vorschriften zu unterstützen, sind Qualitätsstandards², die es erlauben, die Leistungsfähigkeit von Simulationsanlagen zu beurteilen. Derartige Qualitätsstandards sind aber nicht nur hilfreich bei der Schaffung eines regulatorischen Rahmens, sondern können auch genutzt werden als Orientierungshilfe, etwa bei der Beschaffung oder Herstellung und Zertifizierung von Schiffsführungssimulatoren u.w.m. Zugleich

¹ Zum Stand der Diskussion in der ZKR vgl. die Pressemitteilung der ZKR vom 30. Januar 2013 in Anhang 1.

² Der Sprachgebrauch ist nicht einheitlich. Wenn im Rahmen dieser Untersuchung (ohne nähere Erläuterungen) von Qualitätsstandards gesprochen wird, so sind damit zunächst unverbindliche Orientierungsgrößen gemeint. Hiervon zu unterscheiden ist der Begriff der Standardisierung beziehungsweise des Standards, wie er vom Deutschen Institut für Normung verwendet wird. In diesem Sinne genügt ein Standard geringeren Anforderungen bezüglich des Konsenses und des öffentlichen Einspruchsverfahrens als eine Norm, die den Konsens aller interessierten Kreise voraussetzt (vgl. Seite 3 der Deutschen Normungsstrategie).

können solche Standards, die im Rahmen dieser Untersuchung erarbeitet werden sollen, als Grundlage und Vorbereitung einer späteren Normung herangezogen werden.

1.2 Allgemeine Beschreibung von Fahrsimulatoren der Binnenschifffahrt

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf Schiffsführungssimulatoren, das heißt reine Fahrsimulatoren. Daneben gibt es andere Simulatoren, z. B. Maschinen- oder Sicherheitssimulatoren, die ebenfalls eingesetzt werden, um den Schiffsbetrieb zu trainieren und die gegebenenfalls per Interface mit einem Fahrsimulator gekoppelt werden können. Derartige Simulatoren sind jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Schiffsführungssimulatoren sind Mittel, das Steuern, Fahren, Navigieren und Kommunizieren unter Ausführungsbedingungen zu erlernen und zu trainieren, die denen des Fahrbetriebs auf Schiffen entsprechen. Kernelemente sind dabei ein oder mehrere Steuerstände, die mit den auf Binnenschiffen üblichen Anzeigen und Bedienelementen ausgerüstet sind und von denen aus Schiffe vermeintlich aktiv gefahren werden können. Die Randbedingungen wie Schiffstyp, Beladungszustand, Fahrstrecke, Wetter, Strömung, Tag-/Nachtfahrt, Verkehrsdichte etc. sind dabei wähl- bzw. einstellbar. Aufgrund dieser Variationsmöglichkeiten können die Übungsszenarien den Ausbildungsinhalten und Zielgruppen entsprechend konfiguriert und definierte Fahraufgaben beliebig oft trainiert werden.

Fahrsimulatoren berechnen die Auswirkungen von Ruderlegen und Einstellung der Maschinenleistung (respektive deren Veränderung) auf die Schiffsbewegung, wobei externe Einwirkungen wie Unterwassertopographie, Strömung oder Wind berücksichtigt werden. Die Darstellung der Schiffsbewegung relativ zum Umfeld erfolgt

- optisch über Monitore oder per Projektionstechnik aus der Perspektive des Fahrerstandes
- zusätzlich als Radarbild und als Position/Objekt auf einer elektronischen Karte der Wasserstraße (ENC).

Ferner erfolgt eine akustische Darstellung der Umweltgeräusche (z. B. der Maschine), sowie von Telefon und Sprechfunk. Anders als bei den in der Pilotenausbildung eingesetzten Flugsimulatoren werden bei Schiffssimulatoren die Bewegungen des Fahrzeuges gemeinhin nicht physikalisch reproduziert. Einige Simulatoren ahmen jedoch zumindest die Vibrationen des Schiffes mittels Tieftonlautsprecher (Subwoofer) nach.

Die Akteure bei den Trainingskursen werden gemeinhin wie folgt bezeichnet:

- Proband (Kandidat, Schüler, Kursteilnehmer / Trainee): Dieser hat die Rolle des Fahrers, der vom Steuerstand aus die Fahrsituation einschätzt, dort die Anzeigen überwacht und situationsabhängig handelt, d.h. die Elemente zum Steuern und Manövrieren des Schiffes entsprechend bedient.
- Instruktor (Lehrer, Trainer): Dieser ist die für die Vermittlung der Kursinhalte verantwortliche Person.
- Operator: Dieser ist die für die simulationstechnische Vorbereitung und Bedienung des Simulators zuständige Person (ggf. identisch mit Instruktor).
- Prüfer: Dieser ist die Person, die im Rahmen von Prüfungen die Fahrten des Probanden zu beurteilen hat (ggf. identisch mit Instruktor).

Bei den Übungen ist aus der Sicht der Probanden zu unterscheiden zwischen dem Eigenschiff, das von ihm aktiv gesteuert wird, und so genannten Fremdschiffen, die die anderen Verkehrsteilnehmer repräsentieren. Im einfachsten Fall werden die Fremdschiffe über die Instruktorstation eingespielt. Solche vom Instruktor gesteuerte oder auf festgelegten Bahnen verkehrende Fremdschiffe werden als Verkehrsschiffe bezeichnet. Sofern eine Anlage über mehrere Fahrstände verfügt, kann es sich bei den Fremdschiffen aber auch um von anderen Probanden aktiv als Eigenschiff gesteuerte Fahrzeuge handeln, sodass in diesem Fall ein interaktives Fahren möglich ist. Abhängig von den Sicht- und Entfernungsverhältnissen können sich beteiligte Eigenschiffe untereinander sehen (optisch bzw. als Radarbild) und miteinander kommunizieren. Die Kommunikation mit lediglich eingespielten Fremdschiffen ist ebenfalls möglich, sofern die Instruktorstation entsprechend ausgerüstet ist.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird also folgende terminologische Differenzierung verwendet:

- Eigenschiff: vom Probanden gesteuertes Schiff
- Fremdschiffe: vom Probanden gesehene Schiffe

Diese können sein:

- Verkehrsschiffe: auf festgelegten Bahnen verkehrende Fremdschiffe
- andere Eigenschiffe: von anderen Probanden gesteuerte Fremdschiffe.

Die Simulationstechnik bietet zudem die Möglichkeit, dass Messdaten wie Abstände, Ruderwinkel, Geschwindigkeit etc. oder die Kommunikation aufgezeichnet und Fahrten im Wege des Replay reproduziert werden können. Dies eröffnet umfassenden Möglichkeiten der Analyse und Auswertung und bietet damit insgesamt methodisch/didaktisch wertvolle Vorteile gegenüber den Bedingungen an Bord von Schiffen.

Abb. 1.1 zeigt den funktionalen Aufbau eines Schiffsführungssimulators. Die Simulation der Bewegung aller dynamischen Objekte erfolgt im Simulationskern. Die Berechnung der Bewegungen der Objekte (vornehmlich Schiffe) erfolgt durch zeitliche Integration der Beschleunigungen. Die Beschleunigungen werden aus den auf die jeweiligen Schiffe wirkenden Kräften berechnet, die meistens durch ein sog. Koeffizientenmodell beschrieben werden. Unabhängig vom tatsächlich implementierten mathematischen Modell greift der Simulationskern auf Datenbanken zu, in der die für die Fahrdynamik relevanten Daten gespeichert sind. Diese beschreiben die Schiffe und die Umgebung (Bodentopographie, Strömungsdaten usw.).

Der Simulationskern wird beeinflusst durch die Steuereingaben des Probanden oder des Instructors. Der Proband sitzt an einem Fahrstand, der mit den zur Führung eines Schiffes erforderlichen Geräten und Bedienelementen ausgestattet ist.

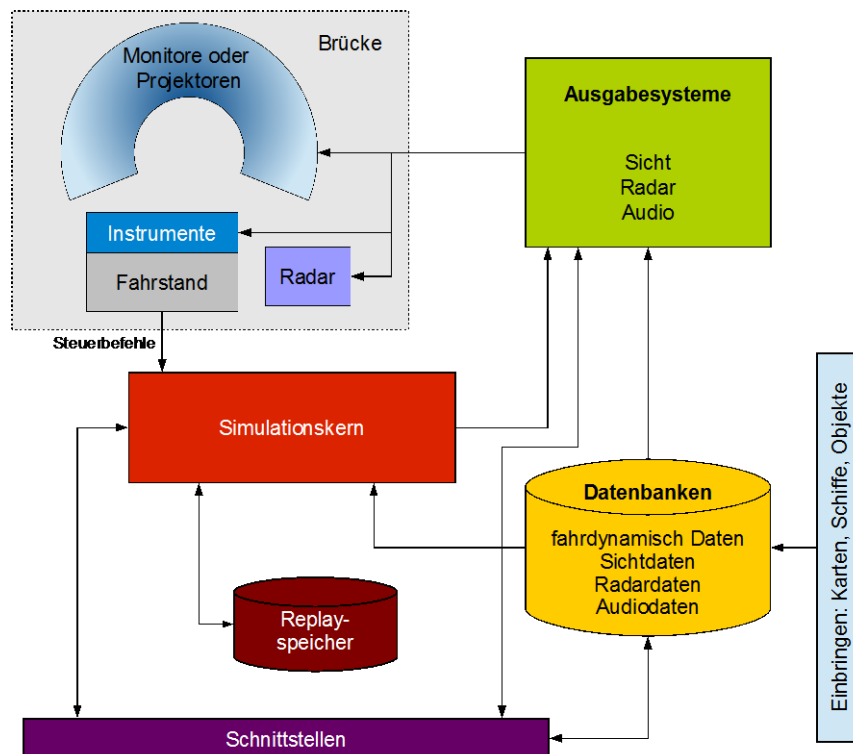


Abb. 1.1 Funktionales Grundschemata bei Schiffsführungssimulatoren

Verschiedene Ausgabesysteme geben den Simulationsstand aus dem Simulationskern wieder:

Im Zusammenhang mit dem Fahrstand zu sehen ist die Darstellung der optischen Sicht. Die Möglichkeiten reichen von einer Darstellung auf einem Monitor bis hin zu einer vollständig umgebenden Rundprojektion. Die Berechnung der Sichtdarstellung erfolgt im sog. Sichtsystem, das auf die aktuellen Simulationsdaten des Simulationskerns und auf die Beschreibung der Simulationsumgebung (Gelände, statische Objekte) zugreift, die sich in der Sichtdatenbank befindet.

Neben der Sichtdarstellung werden brückenübliche Anzeigegeräte (Echolot, GPS, Kartendarstellung, AIS usw.) verwendet, um andere Zustandsgrößen der Simulation darzustellen. Ein besonders komplexes Gerät ist das Radar, dessen Bild in einem eigenständigen System berechnet wird. Das Radarbild kann auf einem generischen Gerät dargestellt werden oder das Signal einer Radarantenne wird generiert, um ein echtes Radargerät anzusteuern. Ebenso kann eine GPS-Schnittstelle simuliert werden, um einen eigenständigen Kartenplotter anzusteuern.

Das Audiosystem dient der Erzeugung der zur Simulation passenden Geräusche. Es greift auf den aktuellen Simulationszustand im Simulationskern zu und generiert aus der Audiodatenbank Geräusche, die am Fahrstand wiedergegeben werden. Dies können ständige Umgebungsgeräusche (z. B. Motorengeräusch) oder einzelne akustische Signale (z. B. Signalhorn) sein.

Die Datenbanken sind eine statische Komponente und stellen folgende Daten für die Simulation bereit:

- Fahrdynamische Daten der Schiffe, die zusammen mit dem implementierten mathematischen Modell das Bewegungsverhalten der Schiffe beschreiben.
- Geografische/topologische und nautische Daten der Übungsgebiete
- Hydraulische und weitere umweltbezogenen Daten zu den Übungsgebieten
- Geometrische Daten des Geländes und der Objekte für die Sichtdarstellung und für das Radarbild
- Audiodaten

Die Formate und Strukturen der Datenbanken sind herstellerspezifisch. Evtl. bietet der Hersteller die Möglichkeit, die Datenbanken zu bearbeiten und Daten zu im- bzw. exportieren. Somit sind in Simulatoren hinterlegte Schiffe, Übungsgebiete oder Aufzeichnungen nicht oder allenfalls begrenzt übertragbar auf Simulatoren anderer Hersteller. Vielfach bietet sich die Möglichkeit, standardisierte elektronische Karten (ENC – electronic nautical chart), Geo-Datenbanken und nautische Informationen, die in erster Linie für den Gebrauch an Bord von Schiffen erstellt werden, zu importieren. Die unterschiedlichen Softwareprogramme, die in einem Simulator installiert sein müssen, um die Vielfalt von Datenbanken und Dateiformate lesen bzw. verwerten zu können, sind ggf. lizenzrechtlich geschützt.

Parallel zur Simulation kann ein Aufzeichnungssystem laufen, das alle Zustandsgrößen der Simulation aufzeichnet, damit die Simulation später wiedergegeben (Replay) werden kann. Erst damit wird eine detaillierte Analyse der Simulation möglich.

Zusätzlich kann der Simulator über Schnittstellen verfügen, mit denen der statische oder dynamische Austausch von Daten ermöglicht wird. Solche Schnittstellen können verwendet werden, wenn mehrere – auch räumlich entfernte – Simulatoren miteinander gekoppelt werden. Außerdem kann so der als fertiges System gelieferte Simulator durch zusätzliche externe Komponenten ergänzt werden.

In einer Minimalversion kann ein Simulator auf einem handelsüblichen PC laufen, wobei die Bedienfunktionen direkt am PC (Tastatur und Maus) ausgeübt werden. Die Anforderungen des Simulationskerns an die Rechenleistung sind sehr gering. Auch das Speichervolumen der verschiedenen Datenbanken stellt selbst für einfache PCs keine Herausforderung dar.

Mit steigendem Anspruch an die Realitätstreue steigen auch die Anforderungen an die Hardware:

- Realitätsnahe Steuerstände enthalten zahlreiche Geräte, Anzeige- und Bedienelemente, die als Echtgeräte oder zumindest sehr ähnlich als generische Geräte ausgelegt sind.
- Eine Rundumsicht (bzw. ein horizontaler Bildwinkel von deutlich über 180°) erfordert die Verwendung von Projektoren oder großen Monitorwänden, in Verbindung mit leistungsstarken (v. a. Grafikleistung) PCs.
- Ein realistisches Fahrerlebnis an einem dezidierten Fahrstand erfordert eine räumlich getrennte Möglichkeit der Überwachung, Steuerung und Wiedergabe von Fahrübungen.

Die Maximalversion ist eine Großanlage bestehend aus sehr unterschiedlichen Geräten und mehreren Fahrkabinen oder nachempfundenen Schiffsbrücken, die in mehreren speziell konzipierten Räumen untergebracht sind. Ob eine eher kleine oder eine eher große Version und welche Qualitäten im Einzelnen erforderlich sind, hängt vom Einsatzzweck ab.

Die Realisierung der Simulation in Software erfolgt herstellerspezifisch auf unterschiedliche Weise. Im einfachsten Fall steuert ein Prozess alle Systeme. Bei größeren Systemen ist oft der Simulationskern ein eigener Prozess, der auch die Simulationszeit bzw. -taktung vorgibt. Prozesse, die zur Ausgabe bzw. Darstellung dienen, laufen dazu asynchron. Die interne Softwarearchitektur und die verwendeten Betriebssysteme haben auf die Leistungsfähigkeit des Simulators keinen grundsätzlichen Einfluss und können auch nicht nach allgemeingültigen Kriterien bewertet werden.

Das verwendete mathematische Modell, das Grundlage der Simulation ist, bestimmt in Kombination mit den Daten aus der fahrdynamischen Datenbank die Qualität (Genauigkeit) der Simulation. Dabei kann mit verschiedenen Modellierungen die gleiche Qualitätsstufe erreicht werden. Solange der Simulator nur als Gesamtsystem verwendet wird, bestimmt die Genauigkeit der Simulation, d. h. die Übereinstimmung des simulierten Verhaltens mit der Realität, die Güte der Simulation. Wenn Veränderungen am Simulationsmodell vorgesehen sind und der Simulator dies zulässt, sind die Details der gewählten Modellierung bedeutend. Häufig jedoch sind Details der mathematischen Modellierung, nach denen die Bewegungen errechnet werden, nicht zugänglich, da die Hersteller Einblicke verweigern.

1.3 Methodischer Ansatz

Wie bereits einleitend erwähnt, werden Schiffsführungssimulatoren seit vielen Jahren erfolgreich für Ausbildung und Training in der Seeschifffahrt eingesetzt. Für diesen maritimen Einsatzbereich sind die Mindestanforderungen an Schiffsführungssimulatoren durch IMO / STCW-Richtlinien³ geregelt, zudem besteht die Möglichkeit, solche Anlagen zertifizieren zu lassen.

Auch wenn sich der heutige Stand der Technik bei Schiffsführungssimulatoren weitgehend aus dem maritimen Einsatzbereich herleitet, so sind doch für in der Binnenschifffahrt eingesetzte Fahrsimulatoren wesentliche Unterschiede zu beachten. Dies betrifft nicht nur die Ausstattung der Schiffe mit Geräten und Bedienelementen im Brückenbereich, sondern eine Reihe weiterer Aspekte. So verkehren Binnenschiffe vorwiegend auf Fahrstrecken mit geringer Wassertiefe und seitlichen Begrenzungen, sodass hier den hydrodynamischen Interaktionen sowohl zwischen Schiff und Wasserstraße als auch zwischen Schiffen untereinander eine grundsätzlich andere Rolle zukommt als in der Seeschifffahrt. Auch sind auf Binnenwasserstraßen die Einflüsse von Strömung und Wind vergleichsweise komplex oder anders gelagert. Zudem stellen die hohe Objektdichte sowie die in der Regel geringen Abstände zum Ufer bzw. zu passierenden Schiffen deutlich höhere Ansprüche an das Sichtsystem mit Auswirkungen auf die erforderlichen Speicher- und Rechenkapazitäten. Neben solchen technischen Aspekten sind weitere Unterschiede zu beachten, die sich unter anderem in den Lerninhalten und -zielen niederschlagen. Diese Unterschiede machen deutlich, dass zur Herausarbeitung von Qualitätsanforderungen für

³ International Maritime Organization / Standards of Training, Certification & Watchkeeping

Binnenschiffsfahrsimulatoren, die ergänzend zur praktischen Ausbildung an Bord eingesetzt werden, ein eigener Ansatz zu wählen ist, der den besonderen Bedingungen in der Binnenschifffahrt Rechnung trägt.

Die Erarbeitung erfolgt in drei Schritten:

- Zunächst werden in Kapitel 2 die Einsatzbereiche bzw. -arten identifiziert, für die ein Einsatz von Fahrsimulatoren in der Binnenschifffahrt grundsätzlich sinnvoll erscheint und aus denen sich letztlich die Qualitätsanforderungen herleiten.
- In Kapitel 3 geht es um die systematische Erfassung der technischen Leistungsmerkmale von Fahrsimulatoren für die Binnenschifffahrt und ihre qualitative Ausprägung; hierzu gehören auch Methoden und Verfahren, um das Vorhandensein bzw. die Ausprägung der verschiedenen Leistungsmerkmale zu prüfen bzw. zu testen.⁴
- In Kapitel 4 schließlich besteht die Aufgabe darin, aufbauend auf den beiden vorangegangenen Arbeitsschritten den jeweiligen Einsatzarten die als sinnvoll erachteten Ausprägungen der verschiedenen Leistungsmerkmale zuzuordnen und so den verschiedenen Gruppen, die an diesen Ergebnissen interessiert sind, eine Orientierungshilfe zu geben. Gleichzeitig kann auf diese Ergebnisse bei einer späteren Standardisierung bzw. Normung zurückgegriffen werden.

Bei der Identifizierung der Einsatzfelder in Kapitel 2 wird zunächst ein institutioneller Ansatz gewählt, bei dem zwischen der Ausbildung von Binnenschiffern, dem Erwerb von Befähigungszeugnissen/Patenten sowie weiterführenden Trainingsprogrammen für Patentinhaber/Schiffsführer unterschieden wird. Ausgehend von den heutigen Regelungen wird die Frage gestellt, für welche Aufgaben sich ein Simulatoreinsatz grundsätzlich, d. h. unabhängig von der aktuellen Verordnungslage, anbietet. Wie zu zeigen sein wird, betreffen die wesentlichen Einsatzarten das Fahrtraining in unterschiedlichem Kontext und je nach Zielgruppe auf unterschiedlichem Niveau.

Um die jeweiligen Lernziele zu erreichen, kommt der Realitätsnähe sowohl der Brücken und Fahrstände als auch der Simulationen die entscheidende Bedeutung zu. Dies ist der übergeordnete Anspruch, der an Simulatoren zu stellen ist, damit die erlernten Verhaltensweisen erfolgreich auf die Praxis übertragen werden können.

Simulatoren sind komplexe Anlagen, die sich aus verschiedenen Teilsystemen zusammensetzen, die nach unterschiedlichen Kriterien systematisiert werden können. Die im Rahmen dieser Untersuchung vorgenommene Unterteilung orientiert sich im Wesentlichen an dem Schaubild (Abb. 1.1 Funktionales Grundschema bei Schiffsführungssimulatoren), das die Grundstruktur von Schiffsführungssimulatoren veranschaulicht. Die dort unterschiedenen funktionalen Bereiche, z. B. Simulationskern, Ausgabesysteme, Datenbanken etc., geben die Gliederung von Kapitel 3 vor.

Die funktionalen Bereiche, die sich selbst wiederum aus verschiedenen Komponenten mit zum Teil zahlreichen Elementen zusammensetzen, werden weiter heruntergebrochen, um letztlich zu jenen Faktoren zu gelangen, die über die Leistungsfähigkeit der Simulationsanlage entscheiden. Diese Faktoren werden als Leistungsmerkmale bezeichnet. Die Leis-

⁴ Eine Sonderstellung kommt der Fahrdynamik der Schiffe zu, die wesentlich über die Realitätsnähe der Simulation entscheidet. Eine vertiefende Qualitätsprüfung mit Aussagen zur quantitativen Genauigkeit der Simulation setzt hydrodynamische Fachkenntnisse voraus und wird deshalb zum Abschluss von Kapitel 3 in einem gesonderten Abschnitt (3.6) behandelt.

tungsmerkmale entscheiden direkt oder mittelbar über die Funktionalitäten des Simulators und deren Qualität und damit letztlich über die Realitätsnähe der Anlage.

Nicht zu den Leistungsmerkmalen gezählt wird der Umfang der in den Datenbanken hinterlegten Schiffsmodelle und Fahrtgebiete. Diese Aspekte entscheiden zwar über das Spektrum der Trainingsmöglichkeiten, werden jedoch im Rahmen dieser Untersuchung nicht als Faktoren angesehen, die über die technische Qualität der Simulation entscheiden.

Da jedes Leistungsmerkmal in der Regel unterschiedliche Ausprägungen aufweisen kann und darüber die Funktionalitäten und deren Qualität beeinflusst, wird für die einzelnen Leistungsmerkmale eine Klassifikation mit drei Klassen vorgeschlagen, die folgende Abstufung beinhaltet:

- (1) geringe Ansprüche an die Ausprägung des entsprechenden Leistungsmerkmals
- (2) mittlere Ansprüche an die Ausprägung des entsprechenden Leistungsmerkmals
- (3) hohe Ansprüche an die Ausprägung des entsprechenden Leistungsmerkmals.

Auf diese Weise soll über die Ausprägung der einzelnen Leistungsmerkmale in den verschiedenen funktionalen Bereichen bzw. ihren Komponenten eine Aussage über die Qualität des Simulators ermöglicht werden.⁵

Die höchste Qualität eines Simulators ist zweifellos dann gegeben, wenn sämtliche Leistungsmerkmale die höchste Einstufung (3) aufweisen. Allerdings werden damit der Entwicklungsaufwand bzw. die Kosten des Simulators ausgeblendet. Denn zum einen kann für bestimmte Einsatzarten auf bestimmte Funktionalitäten gänzlich verzichtet werden, sodass den hierfür verantwortlichen Leistungsmerkmalen keine Relevanz zukommt; und zum anderen sind die Ansprüche an die einzelnen Leistungsmerkmale nicht für alle Einsatzfälle gleich, sondern vielfach reichen Ausprägungen unterhalb des Idealniveaus. Diese Fragen werden in Kapitel 4 aufgegriffen, in dem differenziert nach den betrachteten Einsatzarten Empfehlungen ausgesprochen werden, welche Ausprägungsgüte bei den einzelnen Leistungsmerkmalen – soweit relevant – im Durchschnitt als sinnvoll erscheint.

Diese Empfehlungen beruhen auf Recherchen und eigenen Erfahrungen der Projektbearbeiter, die zu einem ersten Vorschlag zusammengefasst wurden, der anschließend im Projektbegleitenden Ausschuss beraten wurde. In den jeweiligen Tabellen des 4. Kapitels ausgewiesen sind die modifizierten und abgestimmten Ergebnisse nach Beratung im Projektbegleitenden Ausschuss.

⁵ Einen anderen Ansatz verfolgt die ZKR, die sich zurzeit ebenfalls mit dieser Problematik beschäftigt. Den Ausgangspunkt bei diesem Ansatz bildet ein detaillierter Katalog der Aufgaben, die ein Proband an einem Simulator durchführen soll. Auf dieser Grundlage wird eine umfassende Liste erforderlicher bzw. gewünschter Funktionen und Ausrüstungsmerkmale erarbeitet, über die ein idealer Simulator verfügen sollte. Soweit qualitative Anforderungen gestellt werden, beziehen sich diese primär auf die allgemeine Forderung nach Realitätsstreue.

Demgegenüber setzt der hier verfolgte Ansatz an der technischen Seite an, das heißt an jenen Leistungsmerkmalen eines Simulators, von denen die Funktionalitäten und deren Qualität abhängen. Die Entscheidung zugunsten dieses Ansatzes beruht darauf, dass damit direkt auf jene Faktoren abgestellt wird, die letztlich für eine realitätsnahe Gestaltung der Funktionalitäten verantwortlich ist.

Zum Ansatz der ZKR vgl. Anhang 2. Dort findet sich mit Erlaubnis der ZKR ein Auszug aus einem internen Arbeitsdokument vom 8. November 2012.

Die Ergebnisse stellen also eine von Experten erarbeitete Empfehlung dar, die sich auf Qualifikationsanforderungen bezieht, die im Normalfall als angemessen anzusehen sind. Diese Empfehlung ist jedoch mit dem Hinweis zu versehen, dass stets geprüft werden sollte, ob im Einzelfall aufgrund der konkreten Bedingungen Besonderheiten vorliegen, die eine Anpassung sinnvoll erscheinen lassen. Auch eine eventuell zukünftig geplante Erweiterung der Nutzungen um andere Einsatzarten oder Budgetbeschränkungen können eine Modifikation der vorgeschlagenen Anforderungen erforderliche machen.

Zudem finden sich am Ende von Kapitel 4 spezifische Hinweise für die einzelnen Nutzergruppen der erarbeiteten Ergebnisse, die unter anderem auf ergänzende Überlegungen, z. B. zu lizenzrechtlichen Fragen, Wartungskosten und ähnlichem mehr eingehen.

2. Einsatzbereiche und Einsatzarten

2.1 Vorbemerkung

Innerhalb der Binnenschifffahrt kann im Rahmen der Aus- und Weiterbildung zwischen drei Bereichen unterschieden werden, die für einen Einsatz des Simulators in Frage kommen:

- A: die Ausbildung zum Binnenschiffer
- B: der Erwerb von Befähigungszeugnissen/Patenten
- C: weiterführende Trainingsprogramme für Patentinhaber/Schiffsführer.

Der Einsatz von Schiffsführungssimulatoren in der Binnenschifffahrt steht am Anfang, wird jedoch zunehmend praktiziert, obwohl hierfür noch keine Regelungen vorliegen. So hat das Schiffer-Berufskolleg RHEIN Zugriff auf den Fahrsimulator SANDRA und setzt diesen bereits regelmäßig im Rahmen der berufsschulischen Ausbildung zu verschiedenen Zwecken ein. Aber auch seitens des Gewerbes wird zum Beispiel die Möglichkeit genutzt, Personal am Simulator zu schulen. Zudem wird der Simulator auch bereits zu bestimmten Prüfungszwecken eingesetzt. Somit liegen zumindest begrenzte Erfahrungen in diesen Bereichen vor, die bei den weiteren Ausführungen berücksichtigt werden.

Parallel zu diesen Entwicklungen gibt es vor allem auf europäischer Ebene Bestrebungen, den neuen technischen Möglichkeiten Rechnung zu tragen und hierfür einheitliche Regelungen zu schaffen. Zu nennen sind hier insbesondere die intensiven Diskussionen innerhalb der ZKR⁶, die von der EU-Kommission unterstützt werden. Im Vordergrund steht dabei der Erwerb von Befähigungszeugnissen/Patenten, es gibt aber auch Überlegungen hinsichtlich der Ausbildung zum Binnenschiffer. Allerdings sind diese Prozesse, die zugleich mit bestimmten Anforderungen an die Simulatoren einhergehen, noch nicht abgeschlossen, sodass hier noch keine verlässliche Grundlage existiert, auf die Bezug genommen werden könnte. Dennoch lassen diese Überlegungen Tendenzen erkennen, die ebenfalls in die weiteren Ausführungen einfließen.

Vor diesem Hintergrund wird bei der folgenden Behandlung der oben genannten Einsatzbereiche in Abschnitt 2.2 folgendes Vorgehen gewählt: Ausgehend von einer Beschreibung der heutigen Situation in Deutschland wird für die einzelnen Einsatzbereiche aufgezeigt, für welche Aufgaben ein Einsatz eines Fahrsimulators grundsätzlich in Frage kommt. Innerhalb der drei **Einsatzbereiche** wird also zwischen verschiedenen grundsätzlich möglichen **Einsatzarten** unterschieden.

Ob und inwieweit von diesen grundsätzlichen Möglichkeiten zukünftig auch tatsächlich Gebrauch gemacht wird, ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Dies obliegt zu einem großen Teil dem Ordnungsgeber, der beispielsweise über verbindliche Regelungen zum Einsatz von Simulatoren im Rahmen der beruflichen Ausbildung oder der Qualifikation zum Patentinhaber zu entscheiden hat.

Je nachdem, für welche Zwecke ein Simulator eingesetzt werden soll, ergeben sich unterschiedliche Anforderungen, die an eine solche Anlage bzw. seine Komponenten zustellen sind. Da die zugehörigen Leistungsmerkmale und deren mögliche Ausprägungen erst im

⁶ Zum Stand der Diskussion in der ZKR vergleiche die Pressemitteilung der ZKR vom 30. Januar 2013 in Anhang 1.

nächsten Kapitel ausführlich behandelt werden, kann auch die Verbindung zu den mit den verschiedenen Einsatzarten verbundenen Anforderungen erst an späterer Stelle vorgenommen werden. In diesem Kapitel sollen deshalb in Abschnitt 2.3 nur einige allgemeine Überlegungen zu den Anforderungen vorangestellt werden, auf die dann bei der detaillierten Analyse und Zuordnung in Kapitel 4 zurückgegriffen werden kann.

2.2 Einsatzbereiche

2.2.1 Bereich A: Ausbildung zum Binnenschiffer

Die Ausbildung zum Binnenschiffer ist in Deutschland wie für andere handwerkliche oder gewerbliche Berufe nach dem Berufsbildungsgesetz dual angelegt und durch die Verordnung über die Berufsausbildung zum Binnenschiffer/zur Binnenschifferin (BinSchAusbV) geregelt. In Berufsschulen werden gemeinhin vorwiegend theoretische Grundlagen vermittelt, während die Vermittlung praxisbezogener Inhalte insbesondere den Ausbildungsbetrieben obliegt. In der Binnenschifffahrt erfolgt der betriebliche Teil der Ausbildung im Rahmen der Fahrzeit an Bord von Schiffen. Sich abwechselnde mehrmonatige Zeitblöcke „Berufsschule“ und „Fahrzeit“ kennzeichnen den typischen zeitlichen Ablauf dieser dualen Ausbildungsform.

Unterricht bzw. Ausbildungszeiten an Fahrsimulatoren sind heute im Rahmen der berufsschulischen Ausbildung nicht vorgeschrieben bzw. geregelt. Jedoch liegen hierzu bereits erste Erfahrungen an einer Berufsschule vor, die über entsprechende technische Möglichkeiten verfügt und seit mehreren Jahren den Simulator zur Ausbildung vor allem auf dem Gebiet „Nautik-Fahrbetrieb“ einsetzt. Der Simulator wird genutzt, um viele der Tätigkeiten, die im Rahmen der Ausbildung gemeinhin an Bord im Fahrbetrieb auf der Brücke eines Schiffes ausgeführt werden (z. B. das Bedienen von Geräten oder das Steuern eines Schiffes), bereits praxisnah im Unterricht zu vermitteln. Als Vorteil einer solchen Ausbildung am Simulator wird unter anderem herausgestellt, dass ein intensives Vermitteln und Üben mit modernen Navigationsmitteln/-systemen in vielen Fällen an Bord nur bedingt geleistet werden kann. Gründe dafür sind unter anderem die geringe Wahrscheinlichkeit passender Gelegenheiten, aber auch ein heterogenes Wissen der ausbildenden Schiffsführer in Bezug auf moderne Navigationsmittel. Die Erfahrungen belegen, dass Simulatoren – soweit an Berufsschulen verfügbar – eine praxisnahe Ausbildung an der Berufsschule ermöglichen und eine sinnvolle Ergänzung der praktischen Bordausbildung darstellen.

Außerdem kommt seit 2011 bei den IHK-Abschlussprüfungen zum Binnenschiffer in Duisburg ein Fahrsimulator zum Einsatz. Allerdings bezieht sich dies bisher nur auf das Klarmachen der Schiffsbrücke vor Abfahrt, das heißt auf das Einschalten der Geräte und das Setzen von Fahrsignalen.

Bei der Nutzung von Schiffsführungssimulatoren im Unterricht können vier Einsatzarten unterschieden werden, hinzukommt die Möglichkeit zur Abnahme von Prüfungen:

- A1: Demonstration, z. B. bei Lernzielen hinsichtlich Verkehrszeichen / Verkehrsregeln
- A2: Einsatz von Schiffstechnik / Bedienen von Geräten, z. B. bei Lernzielen hinsichtlich Steuer- und Antriebssystemen oder Navigations- und Kommunikationssystemen
- A3: Steuern und Manövrieren, d.h. aktives Fahren von Schiffen ohne Verkehrsbezug

- A4: Fahren und Navigieren, das heißt (inter)aktives Fahren von Schiffen im Verkehr unter Beachtung von Verkehrsregeln
- A5: Abnahme von Prüfungen zu den im Rahmen von A1 bis A4 vermittelten Lerninhalten.

Im Rahmen der Einsatzart A1 bieten Fahrsimulatoren viele Möglichkeiten der Darstellung. So können z. B. Verkehrszeichen in der optischen Sicht unter verschiedenen Bedingungen wie Abstand, Blickwinkel, Sichteinschränkungen (Niederschlag, Nachtsicht etc.) gezeigt und erläutert werden. Ähnliches gilt für die Radarsicht bei unterschiedlichen Bedingungen. Ferner kann die ENC-Darstellung von Verkehrszeichen und nautischen Informationen in elektronischen Karten vermittelt werden. Simulatoren können also komplementär zu Unterrichtsmaterial wie Büchern oder Schautafeln genutzt werden. Wie Verkehrszeichen oder andere Objekte unter erschwerten Bedingungen zu erkennen und zu deuten sind bzw. wie dabei ein Abgleich zwischen optischer Sicht, Radar und elektronischer Karte erfolgen sollte, kann somit an Simulatoren vermittelt und geübt werden. Diese Vorteile gegenüber herkömmlichem Unterrichtsmaterial gelten in gleicher Weise für die Vermittlung von Signal- und Lichterführung von Schiffen, wo sich je nach Perspektive und z. B. einer situationsbedingten Verdeckung eines Tagessignals oder Fahrlichtes Risiken einer Fehlinterpretation ergeben können. Dadurch dass sich solche Situationen graduell erzeugen lassen, können an Simulatoren die Ursachen solcher Risiken sowie der Umgang damit vermittelt werden. Weitere Vorteile gegenüber herkömmlichem Unterrichtsmaterial gelten bei der Darstellung und verkehrsrechtlichen Erläuterung von Verkehrssituationen, die an Simulatoren beliebig komplex erzeugt und beliebig oft reproduziert werden können. Im Vordergrund stehen die Lernziele Signale und Verkehrsregeln kennen sowie Verkehrssituationen verstehen.

Die Einsatzart A2 bezieht sich auf den Unterricht in Sachen Schiffstechnik im Hinblick auf die Ausrüstung von Binnenschiffen mit

- Antriebs- und Steuerorganen,
- Navigations- und Kommunikationsgeräten sowie
- weiteren Geräten oder Signalen (z. B. Lichterführung), die zur Brückenausstattung gehören bzw. von dort aus geschaltet oder angesteuert werden.

An Fahrsimulatoren können die Bedienelemente sowie Anzeigen gezeigt, erläutert, deren Funktionsweise und Zweck demonstriert und erlebt werden. Hier sind die vorrangigen Lernziele das Verstehen von Anzeigen und Darstellungen sowie das Beherrschen der Bedienfunktionen an den Instrumenten und Geräten.

Die Einsatzart A3 betrifft das Steuern und Manövrieren von typischen Binnenschiffen und setzt Kenntnisse aus A2 voraus.

An Fahrsimulatoren kann das fahrtechnische Handling bestimmter Schiffstypen ohne sowie unter Einfluss von Wind und Strömung bei unterschiedlichen Beladungszuständen erläutert, veranschaulicht und erlernt werden. Die wesentlichen Lernziele lassen sich hier wie folgt zusammenfassen: Grundkenntnisse über Steuer- und Manövrierbarkeit von Binnenschiffen, Grundfertigkeiten beim Steuern, Manövrieren, Anlegen und Ankern von Schiffen, d.h. Einsatz von Antriebs- und Steuerorganen sowie von Leinen und Anker auf unterschiedlichen Schiffstypen.

Die Einsatzart A4 setzt entsprechende Kenntnisse und Fertigkeiten auf den Ebenen A1, A2 und A3 voraus. Im Vordergrund steht situationsgerechtes Handeln im Verkehr unter Einsatz von Navigations- und Kommunikationsmitteln.

Dabei sind Lernziele das regelkonforme Fahren in typischen Situationen wie

- Begegnen
- Überholen
- Kreuzen einer Wasserstraße
- Ein- und Auslaufen in Häfen und Schleusen
- Ankern

Die Einsatzart A5 betrifft die Abnahme von Prüfungen. Dabei können alle Kenntnisse und Fähigkeiten, die an einem Fahrsimulator vermittelt werden, grundsätzlich auch an einer solchen Anlage geprüft werden.

2.2.2 Bereich B: Erwerb von Befähigungszeugnissen/Patenten

Die Qualifikation zum Patentinhaber ist in Deutschland durch die Verordnung über Befähigungszeugnisse in der Binnenschifffahrt (Binnenschifferpatentverordnung – BinSchPatentV) sowie die Rheinschiffspersonaleinführungsverordnung (RheinSchPersEV) geregelt. Dabei obliegen Prüfung und Ausstellung der Patente der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung.

Zu unterscheiden ist zwischen folgenden Befähigungsnachweisen, die nacheinander, das heißt aufeinander aufbauend, zu erwerben sind:

- Sprechfunkzeugnis
- Schifferpatent
- Streckenzeugnis
- Radarpatent

Voraussetzung für das Ablegen dieser Prüfungen ist entweder

- die vorangegangene Ausbildung zum Binnenschiffer (drei Jahre in der dualen Ausbildung) sowie eine anschließend nachgewiesene Fahrzeit von z. B. 182 Tagen zum Erwerb des Rheinpatents oder
- bei fehlendem beruflichen Abschluss als Binnenschiffer der Nachweis einer vierjährigen Fahrzeit. Letzteres gilt auch für Quereinsteiger, z. B. aus der Seeschifffahrt.

Abbildung 2.1 gibt eine schematische Übersicht über die Ausbildungswege zum Schiffsführer.

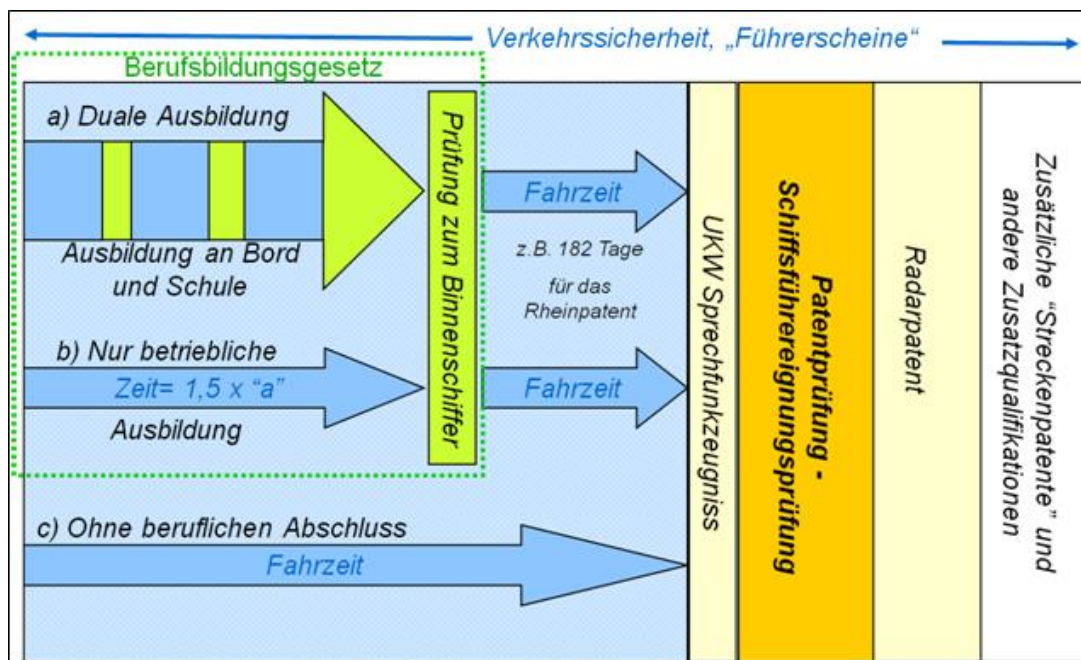


Abb. 2.1 Ausbildungswege zum Schiffsführer

Zum Erlangen eines Sprechfunkzeugnisses sind die Fähigkeiten zur Bedienung der Sprechfunkanlage sowie zur Abwicklung des Sprechfunkverkehrs nachzuweisen. Allerdings besteht hier nur eine geringe Affinität zum Einsatz von Schiffsführungssimulatoren, weshalb dieser Bereich bei den weiteren Überlegungen außen vor bleibt.

Schifferpatente / Streckenzeugnisse

Schifferpatente berechtigen dazu, Binnenschiffe als Schiffsführer zu fahren. Kritisch zu hinterfragen ist allerdings, ob und in welchem Umfang der Kandidat während der zur Ablegung der Prüfung geforderten Fahrzeiten tatsächlich ein Schiff unter Aufsicht zumindest gelegentlich steuern, navigieren und bestimmte Manöver ausführen darf und dabei ausbildungskompetent betreut wird. Unter anderem dürfte dies von der Bereitschaft und Fähigkeit des Schiffsführers abhängen, als Ausbilder zu agieren. Der Nachweis tatsächlicher Fahrstunden ist jedenfalls nicht vorgeschrieben. Dieser bekannte Mangel der heutigen Regelung wird dadurch verstärkt, dass im Gegensatz beispielsweise zum Erwerb einer Fahrerlaubnis für Straßenfahrzeuge eine praktische Fahrprüfung nicht vorgesehen ist. Stattdessen werden die Fähigkeiten, ein Schiff zu fahren, zu navigieren und zu manövrieren, heute lediglich in theoretischer Form geprüft.

Streckenzeugnisse - Für viele Fahrtgebiete wird neben dem Schifferpatent der Nachweis von Streckenkenntnissen gefordert. Entsprechende Streckenzeugnisse werden nach bestandener Streckenprüfung ausgestellt. Dabei wird neben der reinen Ortskunde unter anderem das Verkehrsverhalten bzw. die Fahrtaktik an nautisch anspruchsvollen Streckenabschnitten abgefragt. Gemeinhin legen Probanden ihre erste Streckenprüfung im Zusammenhang mit einer Patentprüfung ab.

Der Einsatz von Fahrsimulatoren im Rahmen des Erwerbs eines Schifferpatents ist weder vorgeschrieben noch findet eine Nutzung dieser Möglichkeiten heute statt. Dies gilt sowohl hinsichtlich des Erlernens nautischer Fähigkeiten als auch für die Vermittlung prü-

fungsrelevanter Inhalte, z. B. zur Streckenkunde in Vorbereitungskursen gewerblicher Einrichtungen, oder die Abnahme der Prüfungen. Die aktuellen Entwicklungen auf europäischer Ebene lassen jedoch eine Änderung dieser Praxis erwarten. Vor allem eine Verkürzung der erforderlichen Fahrzeiten sowie eine Reduktion der Anzahl der erforderlichen Streckenfahrten bei Nachweis entsprechender Übungszeiten am Simulator stehen zur Diskussion.

Neben einer allgemeinen Verbesserung der Ausbildung werden folgende Optionen für den Einsatz von Fahrsimulatoren im Zusammenhang mit dem Patenterwerb gesehen:

- Verkürzung der vorgeschriebenen Fahrzeiten an Bord bzw. Reduktion der Anzahl der erforderlichen Streckenfahrten bei begleitendem/ergänzendem Training am Simulator
- Abnahme von Prüfungen am Simulator
 - hinsichtlich der nautischen Fähigkeiten im Allgemeinen
 - zum Nachweis der Streckenkenntnis
- Vorbereitungskurse für die Vermittlung prüfungsrelevanten Wissens/Fähigkeiten auf nautischem und/oder streckenbezogenem Gebiet.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich folgende Einsatzarten:

- B1: Vermittlung nautischer Fähigkeiten: Fahren und Navigieren von Schiffen im Verkehr unter Beachtung von Verkehrsregeln
- B2: Vermittlung streckenbezogener Kenntnisse
 - B2.1: Vertrautmachen mit den streckenspezifischen Besonderheiten bestimmter Fahrtgebiete, das heißt nautisch relevanter Objekte und deren Position entlang einer Strecke
 - B2.2: streckenkundiges, ortsabhängiges Fahren und Navigieren unter Berücksichtigung streckenspezifischer Gegebenheiten der Wasserstraße sowie der dort zu beachtenden Regeln und Practice.
- B3: Abnahme von Prüfungen zu den im Rahmen von B1 und B2 vermittelten Lerninhalten

Die Einsatzarten B1 und B2.2 setzen die Ebenen A1, A2 und A3 voraus.

Gerade bei einer angestrebten Verkürzung der Fahrzeiten an Bord soll der Kandidat im Rahmen der Einsatzart B1 am Simulator Routine im Fahren und Navigieren eines Schiffes gewinnen, die ihn auf ein eigenständiges Führen eines Schiffes vorbereitet. Im Gegensatz zur heutigen Praxis des Nachweises von Fahrzeiten an Bord ist hier ein aktives Training des Kandidaten sichergestellt. Darüber hinaus eröffnet die Simulatorenausbildung auch die Möglichkeit, das Beherrschen kritischer Verkehrssituationen zu erlernen, die im Gegensatz zur Praxis beliebig konfiguriert und wiederholt sowie gefahrlos geübt werden können.⁷

⁷ B1 geht damit, was die Lernziele anbelangt, deutlich über A4 hinaus.

Im Rahmen der Einsatzart B2.1 erfolgt die Vermittlung streckenbezogener Kenntnisse in allgemeiner Form, um den Kandidaten zeiteffizient mit den spezifischen Besonderheiten bestimmter Fahrtgebiete vertraut zu machen. Zugleich bietet der Simulator die Möglichkeit, die optisch vermittelten Informationen im Kontext zu erlernen mit der Verwendung elektronischer Karten und zusätzlicher Navigationshilfen, z. B. GPS.⁸

Die so vermittelten Ortskenntnisse, die heute einen wesentlichen Bestandteil der Streckenkunde-Prüfung darstellen, können im Rahmen der Einsatzart B2.2 verbunden werden mit dem Erlernen eines der jeweiligen Strecke angepassten Fahrverhaltens unter Beachtung der streckenspezifischen Besonderheiten und der dort zu beachtenden Regeln. Dies gilt insbesondere für kritische Gefahrenstellen, z. B. Engpässe oder spezielle Strömungsverhältnisse, deren Beherrschung auch hier zeiteffizient und gefahrlos trainiert werden kann.

Da die Einsatzarten B1 und B2 sowohl im Zusammenhang mit einer Verkürzung der Fahrzeiten an Bord bzw. einer Reduzierung der erforderlichen Streckenfahrten als auch – hiervon unabhängig – zur Vorbereitung auf entsprechende Prüfungen genutzt werden können, bedarf es hier keiner weiteren Differenzierung.

Die Einsatzart B3 betrifft die Abnahme von Prüfungen. Dabei können alle Kenntnisse und Fähigkeiten, die im Rahmen der Einsatzarten B1 und B2 an einem Fahrsimulator vermittelt werden, grundsätzlich auch an einer solchen Anlage geprüft werden.

Radarpatent

Der Erwerb eines Radarpatentes setzt heute voraus, dass der Kandidat bereits über ein Schifferpatent verfügt. Die Prüfung⁹ selbst umfasst einen theoretischen und einen praktischen Teil. Für die hier verfolgte Fragestellung relevant ist vor allem die praktische Prüfung, die heute an Bord von Trainings- bzw. Prüfungsschiffen abgenommen wird. Dem Probanden wird dabei die optische Sicht nach außen versperrt, sodass er voll auf die Radarsicht angewiesen ist. Simulatoren gelangen dabei heute nicht zum Einsatz mit Ausnahme der Wasserschutzpolizeischule (WSPS) Hamburg, die bei den Eignungsprüfungen zur Erlangung des Radarpatents auf einen (Radar)Simulator zurückgreift. Allerdings kommt dieses Prüfungsverfahren nur für das WSPS-Personal und nicht für das Gewerbe zur Anwendung. Anders sind dagegen die Regelungen in den Niederlanden. Dort können auch gewerbliche Binnenschiffer die Radarpatentprüfung an einem Radarsimulator ablegen.¹⁰

Etwas anders sieht es aus bei den von gewerblichen Einrichtungen angebotenen Vorbereitungskursen. Hier findet die Vorbereitung auf den praktischen Prüfungsteil entweder an Bord von Trainingsschiffen oder an einem Radar- bzw. einem Schiffsführungssimulator statt.

Das Problem von Radarprüfungen bzw. von Vorbereitungskursen an Bord von Schiffen liegt in erster Linie darin, dass der Schwierigkeitsgrad von der aktuellen Verkehrs- und

⁸ Auch wenn dort nicht erwähnt, könnten vom Grundsatz her streckenbezogene Kenntnisse natürlich auch an Berufsschulen vermittelt werden, dann aber auf einem entsprechend angepassten Niveau.

⁹ Verordnung über die Erteilung von Radarpatenten (Radarpatentverordnung - RadarPatV)

¹⁰ Vgl. hierzu die niederländische Erkenningsrichtlijn Radarsimulator (2011), die diesem Bericht als Anhang 3 beigelegt ist.

Wettersituation abhängt und deshalb nicht systematisch variiert werden kann. Auch befindet sich der Kandidat bei einer durch einen Vorhang versperrten Außensicht an einem Radargerät und erteilt von dort aus Anweisungen an den Rudergänger, was nicht unbedingt der Realität einer Radarfahrt entspricht. Insbesondere wegen der einstellbaren Fahrbedingungen (Verkehrssituation, Wetter etc.) sowie der Möglichkeit der Aufzeichnung und Dokumentation bietet der Einsatz von Simulatoren sowohl bei der praktischen Prüfung als auch bei der Vorbereitung hierauf Vorteile gegenüber Trainings- bzw. Prüfungsschiffen und soll deshalb trotz heute fehlender Regelungen als weitere Einsatzmöglichkeit berücksichtigt werden.

Auch ist zu berücksichtigen, dass Radargeräte zunehmend auch bei guter meteorologischer Sicht als Navigationsgerät eingesetzt werden. Moderne Geräte erlauben z. B. eine Zusammenführung von Radarbild und ENC-Anzeige. In dieser kombinierten Darstellung können zudem auch AIS-Anzeigen dargestellt werden.

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen des Erwerbs des Radarpatents zwischen folgenden beiden Einsatzarten unterschieden werden:

- B4: Vermittlung der Fähigkeiten zum Führen eines Schiffes bei fehlender Sicht mit Hilfe eines Radargerätes sowie Nutzung eines Radargerätes als Navigationsgerät inklusive ENC und AIS
- B5: Abnahme der praktischen Prüfung zum Erwerb des Radarpatents.

Mit Hilfe des Simulators kann im Rahmen der Einsatzart B4 die situationsgerechte Nutzung des Radars erlernt werden. Insbesondere können typische Einschränkungen und Störungen der Radarsicht aufgrund der Position des Schiffes bzw. seiner Radarantenne und entsprechend einstellbarer externer Randbedingungen (insbesondere Niederschlag und Wellen) aufgezeigt und der Umgang damit trainiert werden.¹¹

In gleicher Weise, wie der Simulator zur Vermittlung derartiger Fähigkeiten genutzt werden kann, können diese Fähigkeiten im Rahmen der Einsatzart B5 auch mit Hilfe einer solchen Anlage geprüft werden.

2.2.3 Bereich C: Weiterführende Trainingsprogramme für Patentinhaber/Schiffsführer

Patente weisen formalrechtlich die Eignung als Schiffsführer aus. Weiterführende Trainingsmaßnahmen am Simulator sind nicht vorgeschrieben, sondern obliegen der freiwilligen Entscheidung der Unternehmen. Dass hier ein nicht unerheblicher Bedarf vorliegt, zeigen Anfragen von bzw. Gespräche mit Reedereien. Zum Teil werden derartige Trainingsmaßnahmen heute bereits praktiziert.

Im Gegensatz zu den beiden zuvor behandelten Bereichen ist das mögliche Einsatzspektrum des Simulators hier jedoch weit gestreut, da es sich stets um konkrete Belange der Reedereien handelt. Einige Beispiele mögen dies verdeutlichen.

So werden Patentinhaber heute in der Regel erst nach einigen Jahren, in denen sie an Bord entsprechende Erfahrungen sammeln konnten, von den Reedereien als Schiffsfüh-

¹¹ Auch hier gilt, dass die Grundlagen der Radarfahrt grundsätzlich auch an Berufsschulen vermittelt werden können, auch wenn dies dort nicht explizit erwähnt wurde.

rer von Schubverbänden eingesetzt. Aufgrund des sich abzeichnenden Personalmangels bestehen konkrete Überlegungen, diesen Lernprozess über eine begleitende Schulung am Simulator abzukürzen.

Auf einer Ebene zu sehen sind die Möglichkeiten, Schiffsführer auf ein spezielles Schiff, neue Steuersysteme oder Radaranlagen etc. am Simulator vorzubereiten, bevor diese ihren Dienst an Bord antreten.

Gleiches gilt für das Befahren schwieriger Strecken. So schult die Meyer-Werft bei der Ablieferung eines neuen Schiffes in der Regel zuvor am Simulator, bevor die enge Passage auf der Ems zur Überführung ins Seegebiet stattfindet.

Andere Aspekte, die ein Training am Simulator nahelegen, sind z. B. die hohen Sicherheitsanforderungen der Kunden beim Transport gefährlicher Güter z. B. in Gastankern. Hier könnten spezielle Trainingsmaßnahmen, gegebenenfalls in Verbindung mit einer Zertifizierung, die Akquisition von Ladung erleichtern, möglicherweise eröffnen sich hierdurch zugleich Chancen auf eine Reduzierung der Versicherungsbeiträge. Auch spezielle Trainingskurse im Rahmen eines Qualitäts- und Umweltmanagements sind hier zu nennen.

Schließlich sei auf die Möglichkeit verwiesen, Fahrsimulatoren auch zum Erlernen einer topographie-orientierten Fahrweise zu nutzen, um sowohl den Brennstoffverbrauch als auch die Emissionen zu senken. Auch an derartigen Kursen besteht Interesse seitens der Reedereien.

Voraussetzung für derartige Trainingsmaßnahmen, die hier sicherlich nicht vollständig dargestellt sind, ist die Einsatzart B1, gegebenenfalls auch B2 und B4. Aufgrund des breiten Spektrums der Nutzungsmöglichkeiten des Simulators können die Einsatzarten hier nur relativ allgemein beschrieben werden:

- C1: Vermittlung der Kenntnisse und Fähigkeiten zum Führen eines Schiffes im Hinblick auf spezifische Reedereianforderungen
- C2: Abnahme von Prüfungen zum Nachweis der unter C1 beschriebenen Kenntnisse und Fähigkeiten zum Zwecke der Zertifizierung.

2.3 Anforderungen an Schiffsführungssimulatoren (grundlegende Überlegungen)

Nachdem in Abschnitt 2.2 zunächst die verschiedenen grundsätzlich möglichen, zum Teil heute bereits praktizierten Einsatzarten herausgearbeitet worden sind, stellt sich die Frage, welche Anforderungen an einen Simulator sich hieraus – differenziert nach den jeweiligen Einsatzarten – ergeben. Auch wenn die Verbindung zu den spezifischen Leistungsmerkmalen eines Simulators erst später in Kapitel 4 vorgenommen werden kann, lassen sich bereits an dieser Stelle einige grundsätzliche Überlegungen hierzu anstellen.

2.3.1 Fahrstand/Brücke

Sämtliche Einsatzarten verlangen einen Fahrstand bzw. eine Schiffsbrücke, von der aus das aktive Schiff gesteuert werden kann. Bei interaktiven Fahrübungen werden mindestens zwei Fahrstände/Brücken benötigt. Im Idealfall entspricht die Ausrüstung mit nautischen Geräten (einschließlich Radar), Kommunikationsmitteln, Bedienhebeln und Schaltern dem technischen Stand moderner Binnenschiffe, aber auch einfachere Ausstattungen sind möglich.

2.3.2 Sichtsystem

Jeder Fahrstand/Brücke benötigt für die Außensicht ein Sichtsystem. Hier sind verschiedene Varianten (Bildschirme, Projektoren) möglich, die sich zudem in der Qualität der Darstellung (z. B. Winkelbereiche/-treue, Dichte der Bildfolge) unterscheiden können.

2.3.3 Lehrer-Arbeitsplatz (Instruktorstation)

Aktive Fahrübungen erfordern, dass ein Lehrer (Instruktor) die Übungsszenarien anlegt, aktiviert, Effekte einspielt und die Übungen überwacht. Soweit möglich sollte hierfür ein eigener Arbeitsplatz (Instruktorstation) vorhanden sein, von dem aus zum einen die Radar- und optische Sicht wie aus der Perspektive des oder der aktiven Schiffe bzw. Fahrstände, zum anderen die Verkehrssituation insgesamt überblickt werden kann. Ferner dient die Instruktorstation gemeinhin auch als Sprechfunkstelle zur Überwachung des Funkverkehrs sowie z. B. für die Rollen als Meldestelle oder als Fremdschiff. Ein solcher Arbeitsplatz des Lehrers ist im Regelfall zugleich ausreichend für die Abnahme von Prüfungen, gegebenenfalls sind jedoch Ergänzungen notwendig.

2.3.4 Demonstrationsraum (Monitoring/Briefing/Debriefing)

Damit Personengruppen (Schüler) bei aktiven Fahrübungen gemeinsam laufende oder abgespeicherte Übungen beobachten können, ist ein gesonderter Raum von Vorteil, der über eine entsprechende Ausrüstung zur Wiedergabe verfügt. Besondere Bedeutung kommt dabei der Möglichkeit zu, bereits durchgeführte Übungen im Wege des Replay anschließend gemeinsam analysieren zu können.

2.3.5 Möglichkeiten zur Nachrüstung bzw. Erweiterung

Insbesondere für Aufgabenstellungen aus dem Bereich C, die sich auf spezielle Reedereianforderungen beziehen und in der Regel über das normalerweise vorgehaltene Leistungsspektrum eines Simulators hinausgehen, sind Möglichkeiten der programmtechnischen Nachrüstung bzw. Erweiterung erforderlich. Dabei kommen sowohl eine Nachrüstung durch den Hersteller des Simulators als auch durch den Betreiber in Frage.

2.3.6 Fahren eines Schiffes

Die wesentlichen Einsatzarten, für die ein Fahrsimulator in Frage kommt, betreffen das Fahrtraining in unterschiedlichem Kontext und je nach Zielgruppe auf unterschiedlichem Niveau.

2.3.6.1 Aktives Fahren eines Schiffes ohne Verkehrsbezug

Entscheidend ist hier, inwieweit das Fahrverhalten des Schiffes am Simulator dem tatsächlichen Schiffsverhalten entspricht. Dies umfasst auch das Verhalten des Schiffes bei unterschiedlichen Wasserständen sowie beim Ein- und Auslaufen in Schleusen. Damit angesprochen ist die Modellierung der Fahrdynamik, die unterschiedlichen Qualitätsanforderungen entsprechen kann.

Neben der Güte der Modellierung ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung, inwieweit am Simulator auf unterschiedliche Schiffstypen und -abmessungen, auf Schiffe mit unterschiedlichen Antriebs- und Steuerorganen sowie auf verschiedene Beladungsstände und

gegebenenfalls Ladungsarten (z. B. Container, Flüssigladung) zurückgegriffen werden kann. Diese verschiedenen Schiffsmodelle werden in einer Datenbank (Bibliothek) vorgehalten, deren Umfang über die Trainingsmöglichkeiten entscheidet.

Ferner zu nennen sind in diesem Zusammenhang die grundsätzlichen Möglichkeiten, am Simulator die Randbedingungen der Fahrt (z. B. Sichtverhältnisse, Wetter, Wind, Strömung) variieren zu können.

2.3.6.2 Aktives Fahren eines Schiffes im Verkehr unter Beachtung der Verkehrsregeln

Sofern interaktives Fahren trainiert werden soll, sind zumindest zwei Fahrstände/ Brücken erforderlich, von denen jeweils ein Schiff aktiv gesteuert werden kann.

Für die Übungsmöglichkeiten ist entscheidend, dass entsprechende Szenarien am Simulator gestaltet werden können. Dies betrifft einmal die Anzahl von Fremdschiffen, die in die Übungen integriert werden können. Zum anderen geht es um Art und Umfang der Strecken (gegebenenfalls einschließlich Schleusen), auf denen sich die Schiffe bewegen können, um Wasserstraßentyp spezifische Eigenschaften, deren Verkehrszeichen und Signale nach der Binnenschiffahrtsstraßenordnung (BinSchStrO) und nach der Seeschiffahrtsstraßenordnung (SeeSchStrO) abzudecken. Derartige Strecken werden in einer Bibliothek vorgehalten, die unterschiedlich breit angelegt sein kann. Hierzu zählt auch die Hinterlegung von Hafenanlagen, um auch hier entsprechende Übungen beispielsweise zum Manövrieren und Anlegen fahren zu können.

Zum situationsgerechten Handeln im Verkehr zählt weiterhin der Einsatz von Navigations- und Kommunikationsmitteln, was entsprechende Funktionalitäten in angemessener Qualität voraussetzt.

Das Verhalten der Schiffe beim Begegnen und Überholen wird bestimmt durch die Qualität der Modellierung der Fahrdynamik, die auf verschiedenem Niveau erfolgen kann.

2.3.6.3 Streckenfahrt

Auch in den beiden zuvor betrachteten Fällen verkehren die Schiffe auf Wasserstraßen, jedoch kommt es dort nicht auf den konkreten Wasserweg an, sondern in erster Linie auf die typischen Eigenschaften, die mit der Fahrt in einem Kanal oder auf einem frei fließenden Gewässer verbunden sind. Geht es dagegen um ortsabhängiges Fahren, so steht die Realitätsnähe der Modellierung der jeweiligen Strecken im Vordergrund. Dies betrifft zum einen die optische und radartechnische Darstellung der sichtbaren Umgebung, das heißt die Detailliertheit bei der Wiedergabe der Geländetopographie im navigationsrelevanten Sichtbereich. Ein solches Geländemodell beinhaltet auch die Positionierung und Darstellung nautisch relevanter Objekte wie Bauwerke und andere ortstypische Merkmale einschließlich der dort anzutreffenden Verkehrszeichen.

Zum anderen geht es um die Modellierung nicht sichtbarer Faktoren, die die Hydrodynamik beeinflussen, insbesondere also die Reproduktion der Unterwassertopographie und der lokalen Strömungsverhältnisse. Aber auch variable Wasserstände (Hoch- und Niedrigwasser, eventuell vorhandener Tideneinfluss) und lokale Windabschattungen sind hier zu berücksichtigen.

Hinsichtlich der Fahrdynamik spielt die Modellierung der Interaktionseffekte zwischen Schiff und Wasserstraße eine entscheidende Rolle.

2.3.6.4 Radarfahrt

Abgesehen davon, dass Radargeräte heute zunehmend auch bei guten Sichtverhältnissen als Navigationsgerät genutzt werden und damit eigentlich als integraler Bestandteil der drei zuvor genannten Einsatzarten betrachtet werden könnten, stellen wetterbedingt schlechte bzw. fehlende Sichtverhältnisse vom Grundsatz her nur eine erschwerende Randbedingung dar, die ebenfalls im Rahmen der zuvor genannten Einsatzarten berücksichtigt werden könnte. Wenn trotzdem die Radarfahrt im Rahmen dieser Untersuchung als eigene Einsatzart betrachtet wird, so vor allem auf Grund ihrer Komplexität und sicherheitsrelevanten Bedeutung. Diese Sonderstellung kommt auch in der heutigen Rechtslage zum Ausdruck, die ein eigenes Radarpatent vorsieht.

Während es bei einem reinen Radarsimulator vor allem darum geht, das Spektrum an Funktionalitäten und Bedienelementen abzudecken und virtuelle Radarbilder zu modellieren, die den typischen Einschränkungen und Störungen beispielsweise aufgrund der Position des Schiffes Rechnung tragen, kommt bei Schiffsführungssimulatoren ein weiterer Aspekt hinzu. Und zwar muss das Radarsichtfeld so modelliert und als Datenbank im Simulator hinterlegt sein, dass sich bei situationsgerechter Radareinstellung ein Radarbild ergibt, das mit der Außensicht und der elektronischen Karte kompatibel ist.

2.3.6.5 Zielgruppen spezifische Ansprüche

Mit den vorangegangenen Überlegungen wurde versucht aufzuzeigen, dass je nach Einsatzart verschiedene Funktionalitäten des Simulators von Bedeutung sind. Das Vorhandensein bestimmter Funktionalitäten ist aber häufig nicht ausreichend, um die Eignung eines Fahrsimulators beurteilen zu können. So lässt sich beispielsweise leicht feststellen, welche Strecken in der Bibliothek eines Simulators hinterlegt sind, dies allein sagt aber noch nichts aus über die Qualität der Modellierung. Dabei variieren die spezifischen Anforderungen mit der Einsatzart und der Zielgruppe.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Modellierung der Fahrdynamik zu, da Fahrsimulatoren primär zum Fahrtraining eingesetzt werden. Wegen der grundsätzlichen Bedeutung dieses Aspektes sollen bereits an dieser Stelle einige allgemeine Überlegungen vorangestellt werden, um die unterschiedlichen Ansprüche der verschiedenen Zielgruppen zu verdeutlichen:

- Sofern im Rahmen der berufsschulischen Ausbildung Grundkenntnisse beim Steuern, Manövrieren und Navigieren vermittelt werden sollen, dürfte es ausreichen, wenn das Fahrverhalten des Schiffes am Simulator in etwa dem tatsächlichen Schiffsverhalten entspricht. Vereinfacht gesagt sollte sichergestellt sein, dass die relevanten Effekte dem Vorzeichen nach richtig wiedergegeben sind. Auf jeden Fall ist auszuschließen, dass falsche Verhaltensmuster erlernt werden.
- Höhere Anforderungen sind zu stellen, wenn die Kandidaten – wie zurzeit bei der ZKR in der Diskussion – im Zusammenhang mit dem Erwerb von Patenten mittels Fahrtraining an Simulatoren auf das eigenverantwortliche Führen eines Schiffes vorbereitet werden sollen. Die erlernten Verhaltensweisen im Umgang mit dem Schiff müssen deshalb realitätsnah und auf die tatsächliche Schiffsführung über-

tragbar sein. Dies stellt insbesondere deutlich höhere Anforderungen an die Modellierung der Fahrdynamik und der Unterwassertopographie. Dies bedeutet, dass das Fahrverhalten des Übungsschiffes am Simulator vom Grundsatz her zutreffend modelliert ist, also beispielsweise dem typischen Verhalten eines 110 m GMS entspricht. Ferner müsste die nautisch relevante Übereinstimmung von optischer Sicht, Radar und ENC auf einem hohen Niveau gegeben sein.

- Die höchsten Anforderungen hinsichtlich der Fahrdynamik dürften in der Regel bei den Trainingsprogrammen im Einsatzbereich C gegeben sein, wenn gemäß Kundenwunsch besondere Details zu berücksichtigen sind. So ist es denkbar, dass die zu schulenden Schiffsführer z. B. den sicheren Umgang mit einem kundenspezifischen Schiff, etwa einem speziellen Schubverband, trainieren sollen. In einem solchen Fall müsste die Modellierung nicht nur typspezifisch, sondern schiffsspezifisch erfolgen, um die besonderen Eigenschaften realitätsnah abzubilden.

2.3.6.6 Fazit

Wie dargelegt, beziehen sich die Einsatzarten eines Fahrsimulators im Wesentlichen auf das Fahrtraining mit unterschiedlichem Schwerpunkt sowie – abhängig von der Zielgruppe – auf unterschiedlichem Niveau. Wie bereits angedeutet, sind dabei die verschiedenen Formen des Fahrtrainings vom Grundsatz her nicht an eine bestimmte Zielgruppe gebunden, wohl aber würde der Adressatenkreis über das Niveau der Ausbildung entscheiden. Zudem zeichnen sich die zukünftig zu erwartenden Regelungen heute allenfalls in Ansätzen ab und dürften darüber hinaus selbst auch in der weiteren Zukunft einem dynamischen Anpassungsprozess unterliegen.

Vor diesem Hintergrund bietet es sich an, sich bei der Vertiefung und Spezifizierung dieser allgemeinen Überlegungen in Kapitel 4 von der hier als Ausgangspunkt gewählten institutionellen bzw. zielgruppenorientierten Betrachtung zu lösen und einen allgemeineren Ansatz zu wählen. Und zwar soll dort für jede der hier betrachteten vier Grundformen eines Fahrtrainings auf der zweiten Gliederungsebene danach unterschieden werden,

- ob lediglich Grundkenntnisse vermittelt werden sollen, wie dies beispielhaft auf den Berufsschulunterricht zutreffen würde, oder
- ob vertiefende Kenntnisse erworben werden sollen, die letztlich zu einem eigenverantwortlichen Führen eines Schiffes befähigen würden.

Bezogen auf das Fahrtraining und die damit verbundenen Anforderungen an den Fahrsimulator werden also in Kapitel 4 insgesamt 8 Varianten näher zu betrachten sein. Nicht erfasst sind damit allerdings reedereispezifische Schulungen, die sich in der Regel auf bestimmte Detailfragen konzentrieren und dort ein zumindest punktuell deutlich höheres Anforderungsprofil aufweisen. Diese kundenspezifischen Anforderungen richten sich nach dem konkreten Bedarf und sind deshalb einer allgemeinen Betrachtung nicht zugänglich.

3. Simulationstechnik

In diesem Kapitel werden alle technischen Aspekte der Simulation behandelt. Die Bearbeitung erfolgt im Wesentlichen auf Basis eigener Erfahrung bei der Beschaffung, der Weiterentwicklung und dem Betrieb eines auf die Belange der Binnenschifffahrt ausgerichteten Schiffsführungssimulators, auf der Grundlage von Gesprächen mit Instruktoren, (potenziellen) Nutzern und Herstellern sowie durch Auswertung technischer Materialien und Leistungsbeschreibungen. Nicht näher eingegangen wird auf den Umfang der Datenbanken hinsichtlich der Anzahl unterschiedlicher Schiffe und Fahrstrecken, da hiermit lediglich die Auswahlmöglichkeiten, nicht aber die technische Qualität einer Simulation angesprochen wird.

Der Kern der Simulation besteht aus der instationären Berechnung der Bewegungen (Positionen, Lage im Raum und Geschwindigkeiten) und weiterer Zustandsgrößen von Objekten (vornehmlich Schiffen), die mit der Umwelt (z. B. Gewässer, Wind) und untereinander (z. B. im Schleppverband) interagieren. Die Simulation greift dabei auf verschiedene Datenbanken zurück, die die Umwelt (z. B. Bodentopographie, Strömungsfelder) und das Bewegungsverhalten des Schiffes beschreiben. Die Simulation reagiert auf Benutzereingaben, die sowohl an Fahrständen als auch an Kontrollstationen (z. B. durch einen Instruktor) erfolgen können. Zur Darstellung verschiedener Aspekte der Simulation dienen ganz unterschiedliche Geräte und Darstellungssysteme.

Zunächst soll auf die Konzeption und Ausstattung des Gesamtsystems eingegangen werden. Dazu zählen die Benutzerarbeitsplätze, auch Stationen genannt, und die äußerliche Ausstattung der Stationen, die in einem gewissen Zusammenhang mit der gebotenen Funktionalität steht.

Im zweiten und dritten Abschnitt werden die wichtigsten Komponenten der Simulation beschrieben: der Simulationskern und die Ausgabesysteme (Sichtsystem, Audiosystem und Radar). Es werden die wichtigsten Eigenschaften der Komponenten dargestellt und innerhalb der Eigenschaften Leistungsmerkmale beschrieben, anhand derer ein Simulator bewertet werden kann. Eine besondere Stellung – und damit verbunden auch einen großen Raum – nimmt hier die Fahrdynamik der Schiffe ein. Sie bestimmt wesentlich die Genauigkeit der Simulation und wird deshalb sehr ausführlich beschrieben. Im Abschnitt 3.2.1 werden Eigenschaften beschrieben, die jeder Anwender qualitativ bewerten kann. Im Abschnitt 3.6 werden weitergehende Prüfverfahren beschrieben. Diese Prüfverfahren erfordern sowohl ein vertieftes hydrodynamisches Fachwissen als auch Einblicke in die Interna der Simulatorsoftware und können beispielsweise in zukünftigen Zertifizierungsprozessen Anwendung finden.

Im vierten Abschnitt werden die für die Simulation verwendeten Datenbanken beschrieben. Die Beschreibung der Datenbanken kann naturgemäß nur sehr grundsätzlich erfolgen, weil die verwendeten Datenstrukturen zwischen den verschiedenen Herstellern sehr unterschiedlich sein können. Zudem können Datenbanken auch vollständig geschlossen sein, so dass sie nur nach der bereitgestellten Funktionalität beurteilt werden können.

Der fünfte Abschnitt widmet sich dann weiteren Ausstattungsmerkmalen.

3.1 Konzeption und Ausstattung

In diesem Abschnitt geht es um die räumlich konzeptionelle Gestaltung der Simulationsanlage einschließlich der hardwaremäßigen Ausstattung mit Geräten und Bedienelementen. In Unterabschnitt 3.1.1 steht die räumlich konzeptionelle Gestaltung im Vordergrund, wobei neben allgemeinen Fragen des Raumbedarfs die einzelnen Stationen in ihrer Grundstruktur näher betrachtet werden. Unterabschnitt 3.1.2 behandelt anschließend die Ausstattung der Fahrstände mit Geräten und Bedienelementen.

Hinsichtlich der Rechnerkapazität, die für die Durchführung, Speicherung und Wiedergabe von Simulationen und zur Bereitstellung aller Datenbanken erforderlich ist, gibt es heutzutage keine relevanten Einschränkungen. Der Hersteller wird das System so ausstatten, dass die angebotene Funktionalität gewährleistet wird. Anzahl, Ausstattung und Vernetzung der Hardwarekomponenten ist herstellerspezifisch und kann nicht nach einem einheitlichen Schema bewertet werden. Evtl. funktionale Beschränkungen des Simulationsystems können allerdings lizenzrechtlich begründet sein.

Einzig die Sichtdarstellung stellt hohe Ansprüche an die Rechnerleistung. Es ist zurzeit auf dem Markt kein Sichtsystem verfügbar, dass alle denkbaren Ansprüche erfüllen kann. Das Sichtsystem ist deshalb auch hinsichtlich der Computerhardware zu beurteilen.

3.1.1 Räumlich konzeptionelle Gestaltung der Simulationsanlage

Bei Simulationsanlagen kann zwischen folgenden Arten von Stationen unterschieden werden:

- Steuerstand (Fahrstand): An dieser Station erlernen bzw. trainieren die Probanden das Fahren von Schiffen
- Instruktorstation: Hierbei handelt es sich um einen Arbeitsplatz, an dem ein Ausbilder eine Fahrübung einrichten, überwachen und abspeichern kann sowie Prüfer die Fahrten beobachten können
- Briefing-/Debriefingstation: Dies ist der Unterrichtsraum, in dem Kursteilnehmer auf eine Übung am Simulator vorbereitet werden oder eine gefahrene Übung verfolgt und in Unterrichtsform analysiert und ausgewertet werden kann.

Jede Simulationsanlage verfügt über mindestens einen Steuerstand, meistens aber über mehrere Fahrstände, um gleichzeitig mehrere Probanden schulen zu können. Dies eröffnet zugleich Möglichkeiten, interaktives Fahren zwischen den Probanden zu trainieren. Das Vorhandensein (mindestens) einer Instruktorstation stellt den Regelfall dar, jedoch können die hier zu verrichtenden Aufgaben grundsätzlich auch am Steuerstand selbst ausgeführt werden. Gleiches gilt für die Briefing-/Debriefingstation: In der Regel handelt es sich hierbei um eine eigene Station, die Briefing-/Debriefingaufgaben können aber prinzipiell auch am Fahrstand oder gegebenenfalls der Instruktorstation wahrgenommen werden.

Der Raumbedarf für Simulatoren hängt zum einen ab von der Anzahl der Arbeitsplätze, also primär von der Anzahl der Fahrstände, an denen parallel geübt werden soll; zum anderen ist die Technik des Sichtsystems an den Fahrständen entscheidend. So benötigt z. B. die optische Darstellung des Umfeldes eines Schiffes aus der Perspektive eines Steuerstandes dann viel Platz, wenn sie nicht über Monitore, sondern mittels Projektionstechnik realisiert wird. Allein der Abstand zwischen dem Steuerstand und der Projektions-

fläche sollte nach Möglichkeit mindestens 6 m betragen. Da die Projektionsfläche zylinderförmig ist, beträgt somit der Durchmesser eines solchen Raums mindestens 12 m, sofern ein Sichtfeld von 360° gewünscht ist. Fahrstände, die entweder als Brücke oder als Kabine konzipiert sein können, erfordern ohne Berücksichtigung von Projektionsflächen eine Mindestgröße von etwa 8 m², wenn man sich an der entsprechenden Normung orientiert (DIN EN 1864 – Steuerhaus Binnenschiffe). Für eine Instruktorstation ist mindestens die Größe eines PC-Arbeitsplatzes vorzusehen; für eine gesonderte Briefing-/Debriefingstation richtet sich die Größe nach der Anzahl der Kursteilnehmer, realistisch erscheint eine erforderliche Raumgröße von rund 20 m².

In der Regel wird die Auslegung der Anlage so zu wählen sein, dass sie mit den verfügbaren Raumverhältnissen kompatibel ist. Dies erfordert gegebenenfalls Kompromisse bezüglich des Sichtsystems, der Anzahl der Fahrstände oder auch hinsichtlich der Zusammenfassung verschiedener Funktionen. Im Grenzfall ist ein Simulator vorstellbar, an dem das gesamte Spektrum der Funktionalitäten an einem einzigen Steuerstand konzentriert, also nur ein einziger Raum erforderlich ist. Seltener dagegen dürfte der Fall sein, dass für die Simulationsanlage ein eigens konzipiertes Gebäude errichtet wird, bei dem räumliche Restriktionen keine Rolle spielen. Da somit jeder Betreiber einer Simulationsanlage in Abhängigkeit von den lokalen Raumverhältnissen sowie seiner Nutzungsorganisation ein individuelles Gestaltungskonzept anstreben wird, konzentrieren sich die nachfolgenden Ausführungen auf einige grundlegende Aspekte, die bei der Planung der unterschiedlichen Stationen als Orientierung dienen mögen.

a. Fahrstände (Steuerstände)

Wie bereits erwähnt, können Fahrstände zum einen als Kabine (einfacher Raum) ausgeführt sein, bei der – sofern es sich nicht um einen reinen Radarsimulator handelt – die optische Sicht in der Regel über Monitore vermittelt wird; zum anderen können Fahrstände auch als Schiffsbrücke gestaltet sein, bei der die vermeintliche Außensicht durch Fenster erfolgt. Als technische Lösung für das Sichtsystem kommen sowohl die aufwändigere Projektionstechnik als auch die Verwendung von Monitoren in Frage.

Sofern die Anlage über mehrere Stationen, insbesondere Fahrstände verfügt, ist auf die optische und akustische Trennung zu achten. Soweit möglich sollte während einer Übung die Kommunikation zwischen dem Ausbilder und dem Probanden nur über Sprechfunk bzw. Telefon erfolgen, um die Fahrübung realistisch zu gestalten. Die Simulation von Fahrten bei Nacht erfordert die Möglichkeit, den Raum des Steuerstandes zu verdunkeln.

Diese grundsätzlichen Überlegungen vorausgeschickt, geht es bei der räumlichen Ausgestaltung des Steuerstandes vor allem darum, dass der Proband die Fahrübungen in einer für die Binnenschifffahrt typischen Besetzung ausüben kann. Abzustellen ist also auf einen Einmannsteuerstand, wie er vorzugsweise auf modernen Binnenschiffen anzutreffen ist. Je nach Konzeption der Gesamtanlage ist die eventuelle Präsenz eines Ausbilders bzw. Prüfers zu berücksichtigen.

Die im Folgenden vorgeschlagene Abstufung orientiert sich an der DIN EN 1864 (Gestaltung Binnenschiffsfahrstand), die sich auf die räumliche Gestaltung der Schiffsbrücke, die Abmessung des Steuerstandes sowie die Anordnung der Bedienelemente bezieht.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Steuerstände sind hinsichtlich Form und Abmessungen ähnlich gestaltet wie auf üblichen Binnenschiffen, ohne jedoch der Norm zu entsprechen.
- 2 Die Steuerstände entsprechen hinsichtlich der Abmessungen, der Anordnung installierter Geräte sowie des „Griffbereichs“ dem § 6.5 der DIN EN 1864.
- 3 Zusätzlich zu den unter Ziffer 2 genannten Anforderungen ist mindestens ein Steuerstand in einem brückenähnlichen Raum untergebracht, der hinsichtlich der Kriterien Fläche, Höhe, Beleuchtung/Farbgestaltung dem § 5 sowie bezüglich des Steuerhausstuhls dem § 6.8 der DIN EN 1864 entspricht.

Bei speziell auf den Erwerb des Radarpatents ausgelegten Kursen kann seitens der prüfenden Behörde zusätzlich zum Steuerstand ein Arbeitsplatz „Rudergänger“ gefordert werden. Gegebenenfalls ist deshalb ein zusätzlicher Arbeitsplatz in direkter Nähe zum Steuerstand zu positionieren. Dieser Arbeitsplatz, der keine Sicht auf das Radarbild und die Darstellung der Inland ENC haben darf – im einfachsten Fall ist dies durch einen Vorhang zu erreichen –, umfasst den Bedienhebel „Ruder“ sowie einen Wendeanzeiger. Dies entspricht einer Konfiguration, wie sie vor allem auf älteren Schiffen anzutreffen ist. Aufgrund der uneinheitlichen Prüfungspraxis bleibt dieser Aspekt im Bewertungsschema jedoch ohne Berücksichtigung.

b. Instruktorstation

Wie bereits ausgeführt, bestehen die Aufgaben des Instructors in der Einrichtung, Überwachung und Abspeicherung der Fahrübungen. Darüber hinaus können die Instrukturen im Rahmen ihrer Tätigkeit als Lehrer und Trainer auch aktive Rollen einnehmen zum einen im Verkehrsgeschehen, z. B. in der Kommunikation mit Landstationen oder Verkehrsschiffen, aber auch im Bordbetrieb, z. B. durch Ausführung von Tätigkeiten des Deckpersonals beim Ankern, der Herstellung von Leinenverbindungen etc. Letzteres ist nur möglich, wenn die Instruktorstation als eigener Arbeitsplatz angelegt ist, der optisch und akustisch von den Steuerständen getrennt ist.

Sofern ein eigener Arbeitsplatz vorhanden ist, der auch für Prüfungszwecke genutzt werden kann, kommt es vor allem darauf an, von dieser Station aus die laufenden Übungen verfolgen und aufzeichnen zu können. Hierzu gehören die gleiche optische und Radarsicht, wie sie sich aus der Perspektive des Steuerstandes ergibt, sowie die Möglichkeit, die Kommunikation sowie die Wendeanzeige, Ruderlage und Drehzahl der Antriebsmaschine(n) oder die Stellung der Bedienhebel zu verfolgen bzw. abzulesen. Um darüber hinaus Aufgaben im Bordbetrieb wahrnehmen zu können, müssen entsprechende Bedienfunktionen an der Instruktorstation installiert sein.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Eine eigene Instruktorstation ist nicht vorhanden, die Übungen können nur am Steuerstand eingerichtet, überwacht und gespeichert werden.
- 2 Ein separater Instruktorarbeitsplatz ist eingerichtet, der alle Funktionen beinhaltet, die zur Kommunikation mit den Steuerständen sowie zur Überwachung der laufenden Übungen erforderlich sind.

- 3 Zusätzlich zu den unter Ziffer 2 genannten Anforderungen können von der Instruktorstation aus die Bedienfunktionen „Leinen“ und „Anker“ ausgeführt werden.

c. Briefing-/Debriefingstation

An dieser Station geht es vor allem darum, durchgeführte Fahrübungen als Replay anhand von gespeicherten Aufzeichnungen zu analysieren und einer Nachbetrachtung zu unterziehen. Um diesen bei der Simulatoreausbildung wichtigen lernmethodischen Ansatz wahrnehmen zu können, kommt es neben den räumlichen Gegebenheiten insbesondere auf die Wiedergabetechnik an. Im Einzelnen bedeutet dies, dass

- Ausbilder und alle Kursteilnehmer gemeinsam in einem Raum eine gespeicherte Fahrübung betrachten und auswerten können
- der Raum dafür mit ausreichend Mobiliar (Sitze, Tische) ausgestattet ist
- eine Wiedergabetechnik installiert ist, die hinsichtlich Akustik und Bildgröße ausreichend und den Raumverhältnissen entsprechend positioniert ist
- die Wiedergabetechnik es ermöglicht, Radarbild und optische Sicht gleichzeitig und beieinander darzustellen
- die Wiedergabetechnik im selben Raum bedient werden kann.

Der Raum selbst kann dabei z. B. ein normaler, jedoch mit der erforderlichen Wiedergabetechnik ausgestatteter Unterrichtsraum sein. Entsprechende Raumgröße vorausgesetzt, kann es sich anbieten, die Instruktorstation zusätzlich auch als Briefing-/Debriefingstation zu konzipieren. Es ist aber auch vorstellbar, die Nachbetrachtung direkt an einem Steuerstand durchzuführen, sofern eine entsprechende Wiedergabetechnik installiert ist und die Raumverhältnisse der Gruppengröße entsprechen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Replay (Radar, optische Sicht, Akustik) ist nur an Steuerständen möglich.
- 2 Replay ist an einer Instruktorstation möglich.
- 3 Es existiert eine eigene Briefing-/Debriefingstation.

3.1.2 Ausstattung der Fahrstände

Grundsätzlich müssen an den Fahrständen alle Geräte bzw. entsprechende Funktionalitäten vorhanden sein, die laut EU-Richtlinie 2006/87/EG und laut RheinSchUO für Binnenschiffe mindestens gefordert sind. Auf die Anordnung der Geräte wurde bereits oben bei der Behandlung der Fahrstände eingegangen (vgl. Unterabschnitt 3.1.1).

Auf vielen Binnenschiffen finden sich jedoch darüber hinaus weitere moderne Navigationsgeräte bzw. -systeme, die nicht bzw. nicht zwingend vorgeschrieben sind. Zu nennen sind insbesondere Radar, elektronische Karten (ENC), GPS, AIS, aber auch Kompass, Windanzeige oder Echolot/Echograph. Dabei gilt, dass grundsätzlich nur zugelassene Geräte an Bord installiert oder genutzt werden dürfen. Lediglich für Radaranlagen gelten weitergehende Vorschriften, die sich aus der RheinSchUO sowie der Norm ETSI EN 302

194-1¹² ergeben. Da die vorgenannten zusätzlichen Navigations- und Kommunikationsgeräte heute vielfach bereits zum Ausrüstungsstandard zählen, kommt ihnen ebenfalls eine hohe Ausbildungsrelevanz zu. Eine weitere Option für die Ausstattung von Fahrsimulatoren stellen Brennstoffverbrauchsanzeigen dar, die zwar noch nicht weit verbreitet sind, gleichwohl aber für bestimmte weiterführende Ausbildungszwecke sinnvoll erscheinen.

Darüber hinaus ist bei der Ausstattung der Fahrstände zu bedenken, dass sich die den Steuerständen zugeordneten Schiffstypen in Bezug auf Steuer- und Propulsionsanlagen unterscheiden können. Soll ein entsprechendes Spektrum an Schiffstypen am Simulator abgedeckt werden, erfordert dies, dass die Steuerstände hinsichtlich der entsprechenden Bedienhebel (z. B. Voith- oder Schottelantriebe) umrüstbar sind.

Schließlich ist zu entscheiden, ob am Simulator Echtgeräte oder generische Geräte installiert werden. Generische Geräte erscheinen zu Ausbildungszwecken dann ausreichend, wenn sie funktional das gleiche Spektrum abdecken wie Echtgeräte, also Echtgeräten funktional vergleichbar sind. Dies wird insbesondere erreicht durch

- ein identisches Spektrum der Funktionalitäten und Einstellmöglichkeiten
- ein möglichst realitätsnahes Bedienfeld bzw. realitätsnahe Bedienelemente
- eine möglichst identische Gestaltung / Skalierung der Anzeigen
- eine – aus der Bedienperspektive – möglichst realitätsnahe Funktionsweise.

Dabei können sich die funktionalen Prüfprozeduren zum Nachweis der Eignung generischer Geräte grundsätzlich an den für Echtgeräte vorgeschriebenen Verfahren orientieren.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es sind alle Geräte bzw. entsprechenden Funktionalitäten vorhanden, die laut EU Richtlinien 2006/87/EG und laut RheinSchUO für Schiffe mindestens gefordert sind.
- 2 Zusätzlich zu den unter Ziffer 1 genannten Anforderungen sind weitere Geräte bzw. Funktionalitäten vorhanden, die heute vielfach bereits zum Ausrüstungsstandard moderner Binnenschiffe zählen, die aber nicht oder nur bedingt vorgeschrieben sind.
- 3 Zusätzlich zu den unter Ziffer 2 genannten Anforderungen sind die Fahrstände mit Echtgeräten ausgestattet.

3.2 Simulationskern

Das ganze Simulationssystem besteht aus vielen einzelnen Komponenten. Welche Komponenten davon benötigt werden, hängt vom speziellen Einsatzzweck ab. Nur wenige sind unbedingt notwendig. Dazu gehören der Simulationskern, in dem die Bewegung der dynamischen Objekte simuliert wird, und die Datenbanken, die die Objekte und die Simulationsumgebung beschreiben. Diese genügen alleine, um die Simulation durchzuführen. Weitere wichtige Komponenten dienen der Darstellung der Simulation: das Sichtsystem, das Audiosystem und das Radar. Die Komponenten zur Steuerung der Simulation, vor-

¹² www.etsi.org

nehmlich die Bediengeräte am Fahrstand, wurden bereits beschrieben. Es sind zahlreiche weitere Komponenten denkbar, die aber zu speziell sind, um hier alle behandelt zu werden.

Der Simulationskern führt die Simulation der Bewegungen der dynamischen Objekte im Zeitbereich durch. Dies erfolgt durch zeitliche Integration der momentanen Beschleunigungen und Geschwindigkeiten in der Regel in festen Intervallen. Die Beschleunigungen werden aus den auf die Objekte wirkenden Kräften und Momenten und ihren Trägheiten berechnet. Die Geschwindigkeiten sind dabei Zustandsgrößen der Simulation, ihre zeitliche Integration ergibt die Position und Lage im Raum.

Die wichtigste Objektklasse, die simuliert wird, sind die Eigenschiffe, also die Schiffe, die aktiv von Menschen gesteuert werden und deren Bewegungsverhalten von besonderem Interesse ist. Bei der Bewertung des simulierten Bewegungsverhaltens ist immer zu berücksichtigen, dass das Ergebnis der Simulation aus dem Zusammenwirken des Simulationsmodells mit den zugrunde liegenden Daten aus der Schiffsdatenbank resultiert. Ohne eine Analyse des eingesetzten Simulationsmodells kann deshalb nur eine Bewertung des Gesamtergebnisses der Simulation vorgenommen werden, das heißt eine getrennte Bewertung von Simulationsmodell und fahrdynamisch relevanter Schiffsdatenbank ist auf dieser Grundlage nicht möglich. Diese Zusammenhänge sind bei den nachfolgend vorgeschlagenen Testverfahren, die sich auf die Leistungsmerkmale zur Fahrdynamik Eigenschiffe beziehen, zu berücksichtigen. Auch folgt hieraus, dass auf gesonderte Bewertungsverfahren zu der fahrdynamisch relevanten Schiffsdatenbank in 3.4.1.1 verzichtet werden kann, da ohne eine Analyse des Simulationsmodells nur das Gesamtergebnis der Simulation bewertet werden kann. Weitergehende Prüfverfahren, die das Simulationsmodell einschließen und deshalb vertiefte hydrodynamische Fachkenntnisse erfordern, werden in Abschnitt 3.6 vorgestellt.

Im Gegensatz zu Eigenschiffen verfügen Verkehrsschiffe und andere bewegte Objekte außerhalb des Wassers über keine eigene Dynamik. Ihr Bewegungsverhalten wird nicht durch die zeitliche Integration von Kräften bzw. Beschleunigungen berechnet, sondern nach bestimmten Regeln erzwungen. Das Bewegungsverhalten von Verkehrsschiffen kann dabei sehr einfach und unrealistisch sein, sie können sich aber auch täuschend echt verhalten, wenngleich sie nicht direkt mit der Umgebung interagieren. Verkehrsschiffe werden in 3.2.2 beschrieben.

3.2.1 Fahrdynamik Eigenschiffe

Das Eigenschiff¹³ gehört zu den zentralen Komponenten der Simulation. Es ist das Schiff, dass – im Gegensatz zu den Verkehrsschiffen – von Probanden an Fahrständen gesteuert wird. In einem sehr fortschrittlichen Simulator könnte ein Eigenschiff auch von einer künstlichen Intelligenz gesteuert werden. Im Gegensatz zu einem Verkehrsschiff hätte es dieselben dynamischen Eigenschaften wie ein von einem menschlichen Probanden gesteuertes Eigenschiff.

Die Berechnung der Bewegung erfolgt im Simulationskern. Zur Beschreibung der Dynamik des Eigenschiffes werden ganz verschiedene mathematische Modelle benutzt (siehe Abschnitt 3.6). Welches dabei beim jeweiligen Hersteller und dem gewählten Schiffstyp

¹³ In der Datenbank sind in der Regel unterschiedliche Schiffe bzw. Schiffstypen als Eigenschiff hinterlegt.

verwendet wird, spielt für die Bewertung der Qualität der Fahrdynamik zunächst keine Rolle. Im Bewusstsein, dass bei der Bewertung der simulierten Fahrdynamik Simulationsmodell und Schiffsdatenbank immer gemeinsam bewertet werden, ist zu beachten, dass die vorgestellten Bewertungen für jedes vom Hersteller gelieferte Schiff einzeln durchzuführen sind. Erst bei einer tiefer gehenden Bewertung wird auch das zugrunde liegende mathematische Modell untersucht (siehe Abschnitt 3.6). Dabei kann auch festgestellt werden, ob spezielle Eigenschaften durch das mathematische Modell oder durch speziell angepasste Daten in der Schiffsdatenbank abgebildet werden.

Unabhängig von der quantifizierbaren Genauigkeit, mit der die Simulation mit der Realität übereinstimmt, gibt es einige grundlegende Eigenschaften und physikalische Effekte im Fahrverhalten, die als Leistungsmerkmale des Eigenschiffs bewertet werden können. Es werden hier nur die in der Binnenschifffahrt relevanten Eigenschaften für das Eigenschiff aufgeführt und beschrieben.

Leistungsmerkmale

- a. Freiheitsgrade
- b. Vortriebsanlagen
- c. Steuerorgane
- d. Flachwassereinfluss
- e. Strömungseinfluss
- f. Windeinfluss
- g. Banking-Effekt
- h. Interaktion Schiff-Schiff
- i. Squat
- j. Kanaleffekt (Rückströmung)
- k. Schleusenfahrt
- l. Grundberührung
- m. Kollisionen Schiff-Land
- n. Kollision Schiff-Schiff
- o. Kollision Schiff-Brücke
- p. Hubbrücke
- q. Leinenfunktion
- r. Ankerfunktion
- s. Schleppfunktion

a. Freiheitsgrade

Für die Berechnung der Bahn eines Schiffes sind mindestens drei Freiheitsgrade erforderlich (3 degree of freedom , 3-DoF). Hierbei handelt es sich um

- Längsbewegung (Translation in x-Richtung)
- Querbewegung (Translation in y-Richtung)
- Gierbewegung (Rotation um die z-Achse)

Diese Bewegungsarten müssen von allen Simulatoren beherrscht werden. Neben diesen Bewegungen in der horizontalen Ebene existieren noch drei weitere Freiheitsgrade (insgesamt 6-DoF):

- Rollbewegung (Rotation um die x-Achse)
- Tauchbewegung (Translation in z-Richtung)
- Stampfbewegung (Rotation um die y-Achse)

Während im Bereich der Binnenschifffahrt deutliche Rollbewegungen auftreten können (z. B. Krängung bei Kurvenfahrt durch Zentrifugalkräfte, Ruderkräfte oder freie Oberflächen in teilgefüllten Tanks), sind die letzten beiden Freiheitsgrade (Tauch- und Stampfbewegung) von untergeordneter Bedeutung.

Die ebene Bewegung in 3 Freiheitsgraden muss durch das mathematische Bewegungsmodell des Simulators mindestens erfasst werden. Dabei wird die Kopplung zwischen den Freiheitsgraden berücksichtigt, wie z. B. der Zusammenhang zwischen Driften und Gieren bei Kurvenfahrten. Die weiteren Bewegungen können durch ein umfangreicheres mathematisches Modell mit vollständiger Kopplung oder durch vereinfachte Näherungen berechnet werden. Dies wird in 3.6 ausführlicher beschrieben.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Einfache Berechnung mit nur 3 Freiheitsgraden
- 2 Verbesserte Berechnung mit 4 Freiheitsgraden (Rollbewegung)
- 3 Detaillierte Berechnung mit 6 Freiheitsgraden

Testverfahren

Die Implementierung zusätzlicher Freiheitsgrade im Simulationsmodell kann durch Beobachtung im Sichtsystem oder durch Instrumente festgestellt werden. Hierzu werden mit möglichst kleinen Fahrzeugen, die sich üblicherweise ausgeprägter und schneller bewegen als größere, folgende Fahrmanöver durchgeführt.

- Sofern der Horizont bei Voraussicht bei Kurvenfahrt schwankt, ist die Rollbewegung implementiert.
- Sofern sich das Schiff bei starken Längsbeschleunigungen vorne hebt und senkt, ist die Stampfbewegung implementiert
- Sofern sich bei höheren Geschwindigkeiten und konstanter Wassertiefe die Echolotanzeige verringert, ist die Tauchbewegung implementiert (dieser Test impliziert die Modellierung des Squat-Effekts).

b. Vor- und Antriebsanlagen

Neben dem konservativen Antrieb eines Schiffes durch einen Festpropeller an einer Welle werden in der Schifffahrt diverse Varianten eingesetzt. Dazu zählen:

- Mehrfach-Vortriebsanlagen
- Verstellpropeller
- Wasserstrahlvortriebe
- Azimutalvortriebe (z. B. Ruderpropeller, Voith-Schneider-Propeller, Pods etc.)

Allein das Angebot alternativer Vortriebssysteme hebt einen Simulator schon über die Minimalkonfiguration hinaus, obwohl gesagt werden muss, dass die meisten Hersteller von sich aus alternative Propulsionssysteme in ihrer Software implementiert haben, um den Kundenwünschen entgegenzukommen.

Grundsätzlich gibt es am Fahrstand für den Probanden eine Möglichkeit, die Vortriebsleistung vorzugeben. Eine Veränderung der Vortriebsleistung muss sich in einer Änderung der Schiffsgeschwindigkeit auswirken. Dabei müssen Antriebs- und Vortriebsorgan nicht explizit getrennt voneinander simuliert werden. In einer verfeinerten Simulation können aber Details des Antriebsorgans (z. B. die Motorendrehzahl, Kühlwassertemperatur) simuliert werden, was auch eine detaillierte Simulation des Vortriebsorgans erfordert.

Folgende Aspekte können dabei berücksichtigt werden:

- Antriebsorgan

Bei Beschränkung auf Dieselmotoren werden hier Schnellläufer, Mittelschnellläufer und Langsamläufer eingesetzt. Jeder Typ hat ein charakteristisches Betriebsverhalten, welches mehr oder weniger genau modelliert werden kann. Für den Nutzer des Simulators am augenfälligsten ist die Reaktion der Maschine auf die Betätigung eines Bedienelementes. Dies ist in den meisten Fällen der Fahrtregler (EOT-Geber – Engine Order Thrust), der dem konservativen Maschinentelegraphen entspricht. Für die Reaktion der Maschine sind Totzeiten, Hochlaufkurven und Umsteuerzeiten verantwortlich. Weitere Möglichkeiten der Simulation der Maschinenanlage befassen sich mit Temperatur, Öldruck, Brennstoffverbrauch, Alarmen etc. Details der Motorsimulation können auf der Brücke an entsprechenden Instrumenten angezeigt werden. Üblich ist zumindest die Anzeige der Motordrehzahlen.

- Vortriebsorgan

Durch diese Komponente wird die von der Maschine gelieferte Leistung in Schub zur Überwindung des Widerstandes umgesetzt. Bei Beschränkung auf den Propeller (die Betrachtung gilt analog auch für andere Propulsionsorgane) sind die physikalischen Zusammenhänge der Umsetzung von Drehmoment in Schub zu modellieren. Dies kann entweder ganz einfach durch eine proportionale Übertragung erfolgen, was jedoch nicht dem Stand der Technik entspricht. Demgegenüber berücksichtigt die Verwendung von so genannten Freifahrtkurven bei korrekter Anwendung die Zusammenhänge zwischen Drehzahl und Anströmgeschwindigkeit und liefert dadurch z. B. höhere Schübe beim Schleppen oder Anfahren.

Um eine hohe Qualität in der Simulation zu erreichen, ist es erforderlich beide Komponenten der Antriebsanlage – Maschine und Propulsionsorgan – in Verbindung mit anderen Aspekten der Simulation (z. B. Schiffsanströmung und Wassertiefe) zu modellieren.

So sind z. B. für eine realitätsnahe Simulation des Beschleunigungsvorgangs nicht nur das Hochfahrverhalten der Maschine, sondern auch die Wandlung von Drehmoment in Schub, die Erhöhung des Widerstandes mit zunehmender Geschwindigkeit und die der Beschleunigung entgegenwirkende Massenträgheit des Schiffes beeinflussende Größen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Das Schiff reagiert auf den Fahrtgeber und nimmt eine dazu passende Geschwindigkeit an.
- 2 Die Maschine reagiert mit Verzögerung und das Propulsionsorgan hat ein Verhalten passend zur aktuellen Geschwindigkeit.
- 3 Die Simulation beider Komponenten ist realitätsnah ausgeführt und berücksichtigt alle relevanten Einflüsse.

Testverfahren

Die Qualität der Simulation der beiden Komponenten „Maschine“ und „Propulsionsorgan“ kann nur bei insofern bewertet werden, dass das Vorhandensein bestimmter Aspekte durch Fahrversuche überprüft wird.

- **Maschine:** Durch einen Anfahr- und Bremsversuch am Simulator kann festgestellt werden, ob die Maschine entsprechend der eingestellten Hochfahrgeschwindigkeit und Tot- bzw. Umsteuerzeiten realistisch reagiert
- **Propulsionsorgan:** Die Feststellung der physikalisch korrekten Umsetzung von Drehmoment aus der Maschine in Schub vom Propeller ist durch einfachen Fahrtstest am Simulator kaum möglich. Nur wenn eine Ausgabe der aktuellen Parameter wie Schub, Drehzahl und Drehmoment durch Protokolldateien gegeben ist, kann z. B. die Abnahme des Schubs mit der Geschwindigkeit überprüft werden.

c. Steuerorgane

Zu den Steuerorganen zählen alle Systeme, die die Fahrtrichtung des Schiffes beeinflussen. Im einfachsten Fall ist dies ein Ruder, welches im Propellerstrahl angeordnet ist oder sich in freier Anströmung des Schiffes am Heck befindet. Durch das Ruderlegen wird eine Querkraft induziert, die die Drehbewegung des Schiffes einleitet.

Neben der Anordnung mittig im Propellerstrahl sind auf Binnenschiffen häufig Mehrflächenruder im Einsatz, die sich eventuell neben dem Propellerstrahl befinden, um ihn nicht zu behindern, und bei Betätigung des Ruders in diesen hineinschwenken, um die höhere Geschwindigkeit im Strahl für Steuerzwecke besser zu nutzen.

Andere Steuerorgane sind richtbare Vortriebsorgane. In diesem Fall existiert kein Ruderblatt, sondern der Antriebsstrahl selbst wird mit dem Propeller oder Propulsionsorgan geschwenkt. Zu den Steuerorganen zählen auch Systeme, die nicht am Heck, sondern am Bug angebracht sind. Bei Binnenschiffen sind dies entweder Bugruder, Querstrahler oder Rundumstrahler, die auch als 4-Kanal-System ausgebildet sein können.

All diese Systeme dienen nur dem Zweck, die Fahrtrichtung des Schiffes zu verändern oder eine von der Geradeausfahrt abweichende Fahrtrichtung (z. B. Traversieren) zu bewirken.

Es kann vorausgesetzt werden, dass jeder Simulator über zumindest ein Steuerorgan verfügt. Die Qualität der Simulation kann jedoch unterschiedlich und muss nicht für jeden Bedarfsfall gleich sein. Im einfachsten Fall handelt es sich um die Erzeugung einer Querkraft am Heck, die bei konstanter Propellerdrehzahl proportional zum eingestellten Ru-

derwinkel ist. Auch dies erfüllt, sofern keine besonderen Ansprüche gestellt werden, seinen Zweck und führt zu einer Kursänderung.

Höhere Qualität ist dann gegeben, wenn das Steuerorgan z. B. mit einer realistischen Stellgeschwindigkeit simuliert wird und die Anströmverhältnisse physikalisch richtig berücksichtigt werden. Hiermit ist beispielsweise der Effekt gemeint, dass ein auf 20° gelegtes Ruder in Kurvenfahrt effektiv z. B. nur noch mit ca. 10° angeströmt wird, weil die lokale Quergeschwindigkeit im Heck bei Drehen und Driften berücksichtigt wird. Hierbei sollte auch noch die Begradigung durch die Schiffsumströmung Eingang in die Berechnung finden.

Die bestmögliche Simulation liegt dann vor, wenn alle bekannten Einflüsse berücksichtigt sind. Diese kann dann auch dazu benutzt werden, um Ruder unterschiedlicher technischer Ausprägung miteinander zu vergleichen. Um diese Funktionalität zu ermöglichen, muss die Charakteristik des Steuerorgans entweder in Tabellen mit den Widerstands- und Auftriebsbeiwerten hinterlegt sein oder in anderer Form als Daten oder Software bereitgestellt werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Das Schiff reagiert auf das Steuerorgan.
- 2 Das Steuerorgan verhält sich bezüglich der Stellzeiten realistisch und berücksichtigt die wichtigsten Einflüsse.
- 3 Die Simulation des Steuerorgans ist vollständig und erlaubt z. B. den Austausch der Profilform des Ruders

Testverfahren

Um die Qualität der Simulation von Steuerorganen zu testen, können verschiedene Untersuchungen durchgeführt werden. Grenzen sind da gegeben, wo es nicht möglich ist, ohne Protokolle von Zustandsgrößen der Schiffsberechnung das Verhalten zu bewerten.

- **Reaktion:** Das Steuerorgan wird bei Voraus- und Rückwärtsfahrt betätigt. Es wird beobachtet, ob damit Richtungsänderungen bewirkt werden.
- **Stellgeschwindigkeit:** Das Steuerorgan wird betätigt und gleichzeitig am Anzeigement die Stellgeschwindigkeit beobachtet. Es kann festgestellt werden, ob die Stellgeschwindigkeit realistisch ist.
- **Austausch von Profilen:** Die Datenbank des Simulators erlaubt die Zuweisung bestimmter unterschiedlicher Beschreibungen der Charakteristik eines Steuerorgans. Es wird ein Fahrversuch (z. B. Drehkreismanöver) durchgeführt, mit dem geprüft wird, ob sich das Schiff den Erwartungen nach unterschiedlich verhält.

d. Flachwassereinfluss

Das Bewegungsverhalten eines Schiffes ändert sich mit der Wassertiefe. Durch die zunehmende Versperrung unter dem Kiel wird dort die Längs- und Querströmung behindert. gleichzeitig verändern sich die vom Schiff erzeugten Wellen in Form und Höhe. Mit abnehmender Wassertiefe erhöht sich so der Widerstand. Damit verringert sich bei gleich-

bleibender Leistung die Geschwindigkeit bzw. es ist eine höhere Leistung erforderlich, um die gleiche Geschwindigkeit zu erreichen.

Bei Kurvenfahrten, bei denen das Schiff durch Einnahme eines Driftwinkels eine Zentripetalkraft aufbaut, ist wegen der behinderten Querströmung im Flachwasser der Driftwinkel kleiner, aber der Drehkreisdurchmesser größer.

Diese generellen Effekte sollten von einem guten Simulator für die Binnenschifffahrt nachgebildet werden können. Die Strategie, mit der dies erreicht wird, kann von Typ zu Typ durch die unterschiedliche mathematische Modellierung anders sein.

Für eine Simulation des Fahrverhaltens mit geringen Ansprüchen an die Genauigkeit ist der Flachwassereinfluss nur bedingt erforderlich. Das Weglassen dieses Effekts wird eventuell von unerfahrenen Probanden überhaupt nicht bemerkt.

Bei der Qualität der Modellierung des Flachwassereffektes ist nicht nur darauf zu achten, ob er global für die Kräfte verwendet wird oder auf einzelne Koeffizienten wirkt, sondern auch, ob die verwendete Funktion zu realistischen Ergebnissen führt.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Der Flachwassereinfluss beschränkt sich auf den erhöhten Leistungsbedarf bei geringer werdender Wassertiefe.
- 2 Die Wirkung der beschränkten Wassertiefe auf den Leistungsbedarf und das Manörierverhalten ist tendenziell richtig simuliert.
- 3 Die Wirkung der beschränkten Wassertiefe auf den Leistungsbedarf und das Manörierverhalten ist qualitativ richtig simuliert.

Testverfahren

Es werden zwei Tests vorgeschlagen, die die Qualität der Berücksichtigung des Flachwassereinflusses ermöglichen:

- **Geradeausfahrt:** Für unterschiedliche Wassertiefen wird die erreichte Maximalgeschwindigkeit bei Geradeausfahrt bestimmt und mit der Geschwindigkeit bei Tiefwasser normiert über T/h aufgetragen. Der Vergleich mit vorliegenden Daten aus Modellversuchen ergibt Auskunft über die Qualität des Flachwassereinflusses in der Simulation (s. a. 3.6.5.1)
- **Drehkreisfahrt:** Durch Fahrt mit einem Schiff bei konstanter Ruderlage von ca. 20° auf seitlich unbegrenztem tiefen Wasser können die stationären Werte Endgeschwindigkeit, Driftwinkel, Drehgeschwindigkeit und Drehkreisdurchmesser ermittelt werden. Diese Daten werden bei schrittweise abnehmender Wassertiefe weiter ermittelt und über dem Wert Wassertiefe zu Tiefgang T/h aufgetragen. Es kann bestimmt werden, inwieweit Driftwinkel und Drehgeschwindigkeit zunehmen, während Geschwindigkeit und Durchmesser abnehmen.

e. Strömungseinfluss

Die hydrodynamischen Kräfte, die auf das Schiff wirken, werden durch die Anströmgeschwindigkeit, also die Geschwindigkeit des Schiffs relativ zum Wasser, bestimmt. In Flüssen bildet sich aufgrund des Gefälles und der sehr unregelmäßigen Topographie ein

teilweise komplexes, dreidimensionales Strömungsfeld aus, in dem sich die Schiffe dann bewegen. Inwieweit das Strömungsfeld im Simulator überhaupt beschrieben werden kann, wird unter 3.4.1.2 behandelt.

An dieser Stelle soll der Einfluss der Strömung auf die Fahrdynamik des Schiffes behandelt werden. In einem homogenen Strömungsfeld erfährt das Schiff translatorische Kräfte, die es je nach Strömungsrichtung gegenüber dem Grund abbremesen, beschleunigen oder driften lassen. Durchfährt das Schiff inhomogene Strömungsfelder ergeben sich zusätzlich auch noch hydrodynamische Momente, die vor allem zu einer Gierbewegung führen. Sind die Strömungsfelder zusätzlich noch instationär, führt das zu ebenfalls instationären Kräften und Momenten.

Die Beschreibung der Strömung im Fahrtgebiet ist nur eine Voraussetzung für die Erfassung von Strömungseffekten in der Simulation. Das Simulationsmodell muss auch in der Lage sein, diese Details in ein entsprechendes Bewegungsverhalten umzusetzen. Auch hier sind verschiedene Abstufungen denkbar:

Wenn die Strömung nur an einem Punkt im Schiff (z. B. Mitte Schiff) angreift, kann ein Giermoment nicht berechnet werden. Durchfährt ein derart modelliertes Schiff ein inhomogenes Strömungsfeld, erfährt das ganze Schiff immer nur die Wirkung der Strömung an einem Punkt, was nicht der integralen Wirkung auf das gesamte Schiff entspricht. Bei un stetigen Strömungsfeldern führt das zu un stetigen Kraftwirkungen. Dieser Effekt kann gemildert werden, indem die Strömung von mehreren Positionen in der Umgebung des Strömungsmesspunktes gemittelt wird, eventuell sogar unter Berücksichtigung des Abstandsquadrats, um Fernwirkungen abzumildern.

Erst wenn mindestens zwei Strömungsmesspunkte am Schiff vorhanden sind, kann eine Drehbewegung durch inhomogene Strömung berechnet werden. Bei höherer Anzahl wächst die Genauigkeit, sodass z. B. lokale Querströmungen durch seitliche Einleitungen besser berücksichtigt werden können.

Je feiner die Wirkung der Strömungswirkung auf den Rumpf räumlich aufgelöst wird, umso genauer können eine lokal ungleichmäßige Verteilung der Querwiderstandsbeiwerte erfasst und das Giermoment berechnet werden. Dies ist besonders wichtig bei inhomogenen Strömungsfeldern und Schiffen mit ausgeprägtem Bugwulst und sehr flachen Hecklinien.

Abstufung der Ausprägung

Sofern der Strömungseinfluss simuliert wird, wird die Ausprägung dieses Leistungsmerkmals analog zu den obigen Ausführungen wie folgt kategorisiert:

- 1 Die Strömung wird nur mit einem Messpunkt am Eigenschiff berücksichtigt und es gibt eine translatorische Kraftwirkung in der horizontalen Ebene.
- 2 Es existieren mehrere Strömungsmesspunkte auf dem Schiff, so dass die Strömung ein Giermoment hervorrufen kann.
- 3 Es befinden sich viele Messpunkte am Schiff, sodass die Querwiderstandsverteilung genau berücksichtigt wird

Testverfahren

Für die Prüfung des Leistungsmerkmals sind Tests sowohl für die Existenz eines Merkmals als auch die Berücksichtigung in der Simulation vorgesehen:

- Wenn am Bedienerfenster des Simulators oder am Fahrstand eine Anzeige der lokalen Strömung existiert, kann die Anzahl der Strömungsmesspunkte u. U. abgezählt werden. Ansonsten kann diese Information im Handbuch des Simulators vorliegen.
- Ein Schiff wird antriebslos in einen Fluss mit vorhandener Strömung gesetzt. Es wird beobachtet, ob das Schiff von der Strömung mitgenommen wird. Dabei wird geprüft, ob es bis zur Strömungsgeschwindigkeit beschleunigt wird. Wenn die Strömung dem Flussverlauf folgt, wird geprüft, ob sich das Schiff leicht mitdreht.
- Ein Fahrversuch mit der Einfahrt aus einem strömenden Fluss in einen Hafen zeigt, inwieweit der Simulator das durch die inhomogene Strömung erzeugte Giermoment realistisch wiedergibt.
- Bezüglich der Frage, ob eine Querwiderstandsverteilung vorhanden ist, ist zu prüfen, ob Vergleichsfahrten bei der Hafeneinfahrt mit sehr unterschiedlichen Strömungsfeldern zu Unterschieden im Bewegungsverhalten führen.

f. Windeinfluss

Wind (nicht Fahrtwind) beeinflusst das Bewegungsverhalten eines Schiffes. Unter Ausklammerung bewusster Nutzung des Windes (Segel oder Rotoren) ist Wind in den meisten Fällen störend, da er z. B. bei Gegenwind die Fahrt vermindert oder bei Seitenwind das Schiff vom Kurs abbringen kann. Hierfür sind in erster Linie die Aufbauten verantwortlich. Während Schiffe bei Sicht von vorne meist symmetrisch sind, ist dies in der Lateral-sicht normalerweise nicht der Fall. Vollständig abgeladene Binnengüterschiffe mit Massengutfracht haben eine relativ geringe Windangriffsfläche im Bereich des Bugs und des Laderaums; am Heck ist wegen der Aufbauten und der Brücke jedoch eine relativ große projizierte Fläche wirksam. Diese unsymmetrische Verteilung der Windangriffsfläche über der Länge verursacht nicht nur einen Querversatz, sondern erzeugt auch ein manchmal nicht zu vernachlässigendes Giermoment.

Der Windeinfluss kann nur berücksichtigt werden, wenn Windangriffsflächen des Überwasserschiffs in der Datenbank beschrieben sind. Alternativ könnte der Windeinfluss auch durch algebraische Funktionen in Abhängigkeit von der relativen Anströmrichtung beschrieben werden, wie sie aus Windkanalversuchen oder CFD-Berechnungen gewonnen werden können.

Während die Bereitstellung der Windinformationen in 3.4.1.2 klassifiziert wird, geht es an dieser Stelle um die Verarbeitung des Windes am Eigenschiff.

In der einfachsten Form erzeugt der Wind translatorische Kräfte in der horizontalen Ebene. Wenn die Überwasserform ausführlicher beschrieben ist, kann auch das Giermoment simuliert werden. Sofern der Simulator über mehr als 3 Freiheitsgrade verfügt, können durch den Wind auch Rollmomente erzeugt werden, die bei hohen Aufbauten zu einer deutlich wahrnehmbaren Krängung führen.

Des Weiteren kann es relevant sein, ob Objekte am Ufer oder andere Schiffe zu einer Windabschattung führen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Der Windeinfluss erzeugt Kräfte in der horizontalen Ebene entsprechend der vorherrschenden Windrichtung und -stärke.
- 2 Zusätzlich zu 1 erzeugt der Windeinfluss Gier- und Rollmomente.
- 3 Zusätzlich zu 2 erzeugen andere Objekte am Ufer und Schiffe Windabschattungen.

Testverfahren

Um die Ausprägung des Windeinflusses zu prüfen, können verschiedene Tests durchgeführt werden. Um die Effekte leichter erkennen zu können, sind relativ große Windgeschwindigkeiten zu wählen.

- In einem offenen Seegebiet wird das geradeaus fahrende Schiff Seiten- und Gegenwind ausgesetzt. Es ist zu prüfen, inwieweit das Schiff bei Fahrt gegen den Wind langsamer wird als ohne Wind bzw. wie stark das Schiff bei Seitenwind seitlich versetzt wird und gegebenenfalls auch vom Kurs abweicht. Es wird auch beobachtet, ob sich bei Seitenwind eine Krängung einstellt.
- Es wird weiterhin geprüft, wie sich diese Effekte bei deutlichen Erhöhung der Windgeschwindigkeit (nicht der Beaufort-Zahl) verstärken.
- Sofern sich die laterale Windangriffsfläche in der Datenbank verändern lässt, wird dies vorgenommen (z. B. Steuerhaus nach vorne) und bei Seitenwind geprüft, ob dies eine Änderung der Kursabweichung bei Seitenwind bewirkt.
- Es wird geprüft, ob Schwankungen des Windes in Richtung und Stärke im Fahrverhalten spürbar sind.
- Das Schiff wird unter Windeinfluss an einem ufernahen Gebäude und an einem großen Schiff vorbeigefahren. Es wird beobachtet, ob sich bei Eintritt in den Windschatten des Gebäudes bzw. des Schiffes das Fahrverhalten ändert.

g. Banking-Effekt

Bei der Geradeausfahrt eines symmetrischen Schiffes auf seitlich unbegrenztem Gewässer wirken im keine Seitenkräfte und Giermomente. Sobald eine Asymmetrie im Gewässer auftritt, wird die Schiffsumströmung verändert und spezielle Kraftwirkungen sind feststellbar. Eine solche, die Schiffsumströmung beeinflussende Asymmetrie ist dann gegeben, wenn das Schiff an einer Wand entlangfährt. Dies kann eine senkrechte Mauer, aber auch eine Böschung sein.

Das Wasser zwischen Wand und Schiff beschleunigt und es bildet sich ein Unterdruck aus, der das Schiff zur Wand bzw. zur Böschung hinzieht. Je stärker die diesen Effekt prägenden Randbedingungen sind (z. B. Abstand oder Geschwindigkeit), umso größer sind die Kraftwirkungen durch den so genannten Banking-Effekt. Durch die unterschiedliche Ausformung des Schiffskörpers an Bug und Heck, aber vor allem durch den Sog des

Propellers entsteht zusätzlich ein Giermoment, welches vor allem durch den Propeller ausdrehend (wegdrehend) bezüglich der Wand wirkt.

Gerade bei Simulatoren für die Binnenschifffahrt ist es wichtig, dass sie diesen Wandeffekt physikalisch korrekt nachbilden, denn die Navigation im Binnenland ist durch geringe Abstände der Schiffe zum Ufer gekennzeichnet. In Kanälen, z. B. mit den Rechteckprofilen des westdeutschen Kanalsystems mit 42 m Breite, wird dieser Banking-Effekt schnell deutlich. Er führt dazu, dass das Schiff nicht mehr stabil geradeaus fährt, sondern je nach Lage der Spur bezüglich der Kanalachse von der näher liegenden Wand stärker angezogen wird. Gleichzeitig wird der Bug mehr oder weniger stark von der Wand weggedreht. In der Praxis führt das dazu, dass der Schiffsführer im Kanal diese Instabilität durch kontinuierliche Steueraktionen ausgleichen muss.

Wie andere in diesem Abschnitt beschriebenen Effekte zählt der Banking-Effekt auch zu denen, die das Simulationsmodell näher an die physikalische Realität bringen, aber zur reinen Fahrt eines Schiffes nicht unbedingt erforderlich sind. Aus diesem Grund ist schon das Vorhandensein einer nicht verfälschenden Modellierung ein Merkmal, welches über die Grundabstufung der Ausprägung hinausgeht. Darüber hinaus kann die Simulation auch weitere Parameter wie z. B. die Schiffsform etc. berücksichtigen. Die bestmögliche Simulation ist dadurch gekennzeichnet, dass sie auch den Propellersog berücksichtigt.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Ein rudimentär ausgeprägter Banking-Effekt bewirkt eine Seitenkraft und ein Giermoment.
- 2 Seitenkraft und Giermoment ändern sich tendenziell richtig mit dem Abstand und der Geschwindigkeit
- 3 Zusätzliche Einflussfaktoren, besonders der Propellereinfluss, fließen in die Simulation ein.

Testverfahren

Für das Prüfen des Banking-Effektes im Simulator sollte ein Übungsgebiet existieren, welches eine einseitige Böschung oder Wand sowie einen relativ schmalen Kanal aufweist. Folgende Tests können durchgeführt werden:

- Das Schiff fährt parallel entlang der Wand/Böschung. Es wird geprüft, ob der Geradeauslauf des Schiffes deutlich beeinträchtigt ist und ob es zum Ufer hin angesaugt und ausgedreht wird.
- Der Abstand zum Ufer wird verringert und geprüft, wie sich die Effekte ändern.
- In der Nähe des Ufers wird bei plötzlichem Gasgeben beobachtet, ob durch Berücksichtigung des Propellersogs das Heck an das Ufer angesaugt wird.
- Es wird geprüft, ob sich gegenüber seitlich unbegrenztem Gewässer die Richtungsstabilität im Kanal deutlich verschlechtert.

h. Interaktion Schiff-Schiff

Ähnlich wie beim Banking-Effekt wird durch andere in der Nähe befindliche Schiffe die Geradeausfahrt des Eigenschiffes durch Veränderung der Symmetrie der Umströmung

beeinflusst. Bei Begegnungs- und Überholmanövern im Zusammenwirken mit anderen fahrenden Schiffen kommt jedoch noch ein zusätzlicher Einfluss durch die Umströmung des anderen Schiffes hinzu.

Die Umströmung des „anderen“ Schiffes zeichnet sich nicht nur durch eine Vor- und Nachströmung an Bug und Heck sowie eine Rückströmung entlang der Mitte aus, sondern es bildet sich zusätzlich das so genannte Primärwellensystem, welches durch eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Mulde (Einflussgrößen z. B. Wassertiefe und Geschwindigkeit) das Eigenschiff beeinflusst. Diese vom Fremdschiff mitgeführte Mulde verändert die Schwimmlage des Eigenschiffes bezüglich Trimm und Krängung und die damit verbundenen Gravitationskräfte wirken anziehend, aber auch beschleunigend bzw. verzögernd. Die lokal um das Fremdschiff veränderte Strömung beeinflusst ebenfalls das Eigenschiff und führt dazu, dass es, wenn es sich beim Überholtwerden in der Mulde des Fremdschiffes befindet, durch die Rückströmung um das Fremdschiff in einer Gegenströmung befindet, die es verlangsamt.

Beide Effekte, die Wirkung der Mulde und die der Umströmung des Fremdschiffes, wirken zusammen und werden bei einer physikalischen Modellierung üblicherweise nicht getrennt. Neben einem Modellierungsansatz, welcher nur eine zusätzliche Strömungswirkung induziert, existiert nach dem Stand der Technik der Ansatz über reine zusätzliche Kräfte und Momente. Welche Strategie vom Simulatorhersteller gewählt wird, ist nicht von Wichtigkeit. Vielmehr müssen die aus den physikalischen Ursachen, die hier beschrieben wurden, resultierenden Wirkungen auf das Eigenschiff korrekt wiedergegeben werden.

In der folgenden Auflistung werden die Reaktionen eines Schiffes beim Überholen und beim Begegnen im zeitlichen Ablauf skizziert:

Überholt werden: Zu Beginn des Überholvorgangs sackt das Eigenschiff in die von hinten aufkommende Mulde des Fremdschiffes und verzögert dadurch. Das Heck wird weggedrückt und das Eigenschiff dreht ein. Etwa in der Mitte des Vorgangs wird das Eigenschiff durch die Rückströmung verzögert und vom Fremdschiff angesaugt. Zum Ende des Überholvorgangs befindet das Eigenschiff sich mit dem Bug noch in der Mulde und beschleunigt hinter dem Fremdschiff her. Der Bug wird weggedrückt und das Eigenschiff dreht aus.

Selbst überholen: Zu Beginn des Überholvorgangs fällt das Eigenschiff von hinten kommend in die Mulde des überholten Fremdschiffs und beschleunigt. Sein Bug dreht aus. In der Mitte des Vorgangs wird das Eigenschiff angesaugt. Beim Herausfahren aus der Mulde am Ende des Überholvorgangs verzögert das Eigenschiff und es dreht ein.

Begegnen: Zu Beginn des Begegnens fährt das Eigenschiff beschleunigend in die entgegenkommende Mulde des Fremdschiffes. Sein Bug dreht aus. In der Mitte des Vorgangs wird das Eigenschiff angesaugt. Beim Verlassen der Mulde am Ende des Begegnens verzögert das Eigenschiff und es dreht ein.

Generell muss gesagt werden, dass bei Simulatoren ein Unterschied zwischen Eigen- und Fremdschiffen gemacht wird. Das Eigenschiff wird von Probanden aktiv gesteuert und es wird erwartet, dass es so reagiert, wie es aus der physikalischen Realität bekannt ist. Ein Fremdschiff ist für das Eigenschiff immer ein Objekt, mit dem es in Interaktion treten kann und bei guter Simulation auch sollte.

Dieses Fremdschiff kann jedoch ein vom Simulator gesteuertes Verkehrsschiff oder aber wiederum ein anderes Eigenschiff eines weiteren Fahrstandes sein. Die Simulatoren verwenden meist keinen Aufwand auf die Modellierung der Verkehrsschiffe, sodass ein Verkehrsschiff selbst keine Interaktionswirkungen erfährt. Im Fall des Begegnens wird die Fahrt des Eigenschiffes also beeinflusst, ein Verkehrsschiff als Fremdschiff wird dabei jedoch keine Änderung seines Kursverhaltens aufweisen. Begegnen sich jedoch zwei Eigenschiffe mit gut modellierten Interaktionswirkungen, dann werden beide Schiffe – jedes für sich gerechnet – eine entsprechende Reaktion zeigen, die anders und möglicherweise prägnanter ausfallen wird, weil sich z. B. beide Eigenschiffe gegenseitig ansaugen und ein- bzw. ausdrehen.

Aus Modellversuchen und numerischen Untersuchungen sind unter anderem folgende Abhängigkeiten von Randbedingungen beim Passieren bekannt und sollten im Falle einer „perfekten“ Simulation auch so wiedergegeben werden:

Die Interaktionswirkung nimmt mit zunehmendem Passierabstand ab und verschwindet ab einer gewissen Distanz.

- Mit zunehmender Wassertiefe verringern sich die Passiereffekte, werden jedoch auch bei tiefem Wasser nie zu Null.
- Die Wirkungen beim Passieren steigen in etwa mit dem Quadrat der Geschwindigkeit des Fremdschiffes.
- Große Fremdschiffe erzeugen eine größere Interaktionswirkung als kleinere.
- Auch stillliegende Eigenschiffe werden von Interaktionseffekten vorbeifahrender Schiffe betroffen.

Je nach Einsatzart des Simulators ist die Modellierung der Interaktion Schiff-Schiff von unterschiedlicher Bedeutung. In der Binnenschifffahrt passieren die Schiffe häufig in geringen Abständen (besonders in Kanälen). Deshalb ist hier eine plausible Simulation der Wechselwirkung sich überholender oder begegnender Schiffe wichtig.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Nur ein vereinfachter Ansatz für die Interaktion Schiff-Schiff.
- 2 Die Schiffe wirken aufeinander ein, es werden realitätsnahe Effekte erzeugt.
- 3 Sämtliche Abhängigkeiten (Abstand, Wassertiefe, Geschwindigkeit, Schiffsgröße etc.) werden berücksichtigt und in der Simulation realistisch wiedergegeben

Testverfahren

Für eine vollständige Prüfung der Interaktion Schiff-Schiff sollte in dem Simulator eine Übung mit zwei Eigenschiffen aufgesetzt werden, und zwar sowohl in seitlich unbegrenztem Wasser als auch in einem relativ engen Kanal. Wenn dies nicht möglich ist, kann die Prüfung auch mit einem Verkehrsschiff als Fremdschiff durchgeführt werden. Um eine gute Bewertungsmöglichkeit zu erhalten, sollten die Schiffe in parallelen, nicht zu weit voneinander entfernten Kursen gestartet werden.

- Sowohl beim Überholen als auch beim Begegnen wird geprüft, inwieweit das Eigenschiff die oben beschriebenen Reaktionen zeigt.

- Die Wassertiefe wird verringert. Es wird dann geprüft, ob sich die Effekte bei der Schiff-Schiff-Interaktion verstärken.
- Der Abstand zwischen den Schiffen wird vergrößert. Es wird geprüft, ob die Effekte dann geringer werden.
- Die Geschwindigkeit des Fremdschiffes wird erhöht. Es wird geprüft, in welchem funktionalen Zusammenhang der Passiereffekt zur Begegnungsgeschwindigkeit steht.
- Es wird geprüft, ob es bei Begegnungen in einem engen Kanal ab einer gewissen Geschwindigkeit (geringer als die maximal zugelassene Geschwindigkeit in Alleinfahrt) unmöglich wird, kollisionsfrei mit Binnenschiffen zu passieren.
- Es wird geprüft, ob Überholversuche mit zwei Eigenschiffen und geringen Differenzgeschwindigkeiten ab einer gewissen Geschwindigkeit nicht zu Ende geführt werden können, da die beiden Schiffe wegen der Verzögerung des Überholenden und der Beschleunigung des Überholten sich nicht mehr voneinander lösen können.

i. Squat

Als „Squat“ wird die maximale vertikale, dynamische Eintauchung eines Schiffes in Fahrt bezeichnet. Sie setzt sich zusammen aus Trimm und Absenkung. Die Absenkung rührt vom Einsacken des Schiffes in die Mulde des Primärwellensystems (siehe Abschnitt 3.2.1h) her. Durch Antriebssog und unterschiedliche Verdrängungsverteilung stellt sich meistens auch eine Vertrimmung ein.

Bei vollen Schiffen ist der Trimm meist buglastig, schlanke Schiffe sacken meist mit dem Heck stärker ein. Dieser Verdrängungseffekt wird durch den Propellereinfluss überlagert, wobei der Propeller zu mehr hecklastigem Trimm führt, bei stark geneigten Propellerwellen kann dieser jedoch auch zu buglastigen Vertrimmungen führen. Schnelle Schiffe trimmen fast immer hecklastig, da sie bei Geschwindigkeitszunahme die Tendenz haben, ihre eigene Bugwelle hinaufzusteigen und mit dem Heck in die Verdrängungsmulde zu fallen. Die Absenkung ist in Verdrängerfahrt immer positiv und ändert sich mit verschiedenen Randbedingungen.

Es gelten folgende Zusammenhänge:

- Mit zunehmender Geschwindigkeit vergrößert sich die Absenkung.
- Mit zunehmender Wassertiefe verringert sich die Absenkung.
- Bei schmalen Gewässern vergrößert sich die Absenkung.
- Form und Größe des Schiffes beeinflussen auch Umfang und Ausprägung der Absenkung.

Bei Simulationen in der Seeschifffahrt auf tiefem Wasser, hat der Squat nur eine sehr geringe Bedeutung. Im Bereich der Binnenschifffahrt jedoch, wo praktisch immer Flachwasserhältnisse anzutreffen sind, kommt der Absenkung insofern eine wichtige Bedeutung zu, als sie die erreichbare Maximalgeschwindigkeit eines Schiffes wegen des Risikos der Grundberührung begrenzt.

Während der Schiffsführer den Squat auf seitlich unbegrenztem Fahrwasser meist nur durch Beobachtung des Tiefenmessers feststellen kann, ist dieser Effekt in Kanälen leicht-

ter zu erkennen, indem die Wasseroberfläche an der Kanalwand oder an der Böschung beobachtet wird. Dies ist im Simulator aber nur dann möglich, wenn das Sichtsystem (siehe 3.3.1) die Wasseroberfläche so modelliert, dass die lokale Verformung durch die Verdrängungsmulde auch berücksichtigt wird.

Für die Bestimmung des Squats während der Simulation sind verschiedene Möglichkeiten gegeben, die sich durch steigende Komplexität der Berechnung oder durch eine höhere Anzahl von Einflussparametern unterscheiden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es wird nur die dynamische Absenkung, nicht aber der dynamische Trimm simuliert.
- 2 Dynamische Absenkung und dynamischer Trimm werden in Abhängigkeit von der Schiffsform und der Tiefenfroudezahl tendenziell richtig simuliert.
- 3 Dynamische Absenkung und dynamischer Trimm werden in Abhängigkeit von der Schiffsform und der Tiefenfroudezahl qualitativ richtig simuliert.

Testverfahren

Eine Überprüfung dieses Leistungsmerkmals erfolgt am besten in zwei verschiedenen Übungsgebieten, eins mit seitlich unbegrenztem Wasser und eins in einer Kanalsituation. Wichtig ist dabei die Vorgabe eines ebenen Bodens mit konstanter Wassertiefe.

- Durch Fahrversuche auf offenem Wasser kann anhand des Lotes (sofern vorhanden vorne und hinten) die Existenz des Leistungsmerkmals „Squat“ am Simulator überprüft werden.
- Unterschiedliche Werte für das Flottwasser an Bug und Heck zeigen, ob das Schiff auch vertrimmt.
- Bei zunehmender Geschwindigkeit wird überprüft, in welchem funktionalen Zusammenhang der Squat (Differenz zwischen Flottwasser in Ruhe und in Fahrt) zur Schiffsgeschwindigkeit steht.
- Es wird geprüft, ob der Squat bei abnehmender Wassertiefe und gleicher Geschwindigkeit größer wird.
- Es wird geprüft, ob der Squat im Kanal bei gleicher Wassertiefe und Geschwindigkeit größerer ist in seitlich unbegrenztem Gewässer.

j. Kanaleffekt

Fährt ein Schiff im Kanal, treten bestimmte Effekte auf, die bei anderen Leistungsmerkmalen schon behandelt wurden und hier deshalb nicht mehr explizit zu prüfen sind.

Ein spezieller Effekt, für dessen Ausprägung eine spezielle kanalspezifische Kenngröße relevant ist, wird von den anderen Merkmalen jedoch nicht oder nur wenig beeinflusst. Es handelt sich dabei um die so genannte Rückströmung, die schon im Abschnitt 3.2.1h erwähnt wurde. Das Wasser, welches von einem im Kanal fahrenden Schiff verdrängt wird, muss vom Bereich vor in den Bereich hinter dem Schiff gelangen. Da der Querschnitt des Kanals durch den Schiffsquerschnitt verringert wird, muss das Wasser nach Bernoulli mit

einer gegenüber seitlich unbegrenztem Wasser erhöhten Geschwindigkeit am Schiff entlang strömen. Diese Rückströmung verringert die Geschwindigkeit des Schiffes über Grund, weil es aufgrund der vorgegebenen Leistung mit konstanter Geschwindigkeit durchs Wasser fährt. Es hat sich gezeigt, dass der so genannte „Blockage Factor“ (Versperrungsfaktor)

$$BF = (B \cdot T) / (W \cdot h)$$

ein geeignetes Maß für die Quantifizierung dieser zusätzlichen Rückströmung ist. Er bildet sich aus dem Verhältnis Schiffsfläche zu Kanalfläche:

Abstufung der Ausprägung

- 1 Stark vereinfachte Berücksichtigung der Rückströmung.
- 2 Tendenziell richtige Simulation der Rückströmung.
- 3 Qualitativ richtige Simulation der Rückströmung, bei einer Erhöhung der Geschwindigkeit wächst der Effekt überproportional an.

Testverfahren

Für die Untersuchung dieses Effekts in Form der Rückströmung ist als Fahrtgebiet ein Kanal mit konstanter Wassertiefe erforderlich. Wind und Strömung müssen Null sein. Die Rückströmung wird gemessen als Differenz zwischen der Geschwindigkeit durchs Wasser V_{dw} und der Geschwindigkeit über Grund $V_{üG}$.

- Es wird geprüft, ob bei Fahrt im Kanal $V_{üG}$ und V_{dw} unterschiedlich sind.
- Ein Vergleich der errechneten Rückströmung bei einem offenen Gewässer und einem Kanal zeigt, ob das Vorhandensein der Kanalwände zu einer Erhöhung der Rückströmung führt.
- Es wird durch Variation der Schiffsgeschwindigkeit, der Wassertiefe und des Tiefgangs geprüft, in welchem funktionalen Zusammenhang die Rückströmung zu den variierten Größen steht.

k. Schleusenfahrt

Die Fahrt eines Schiffes in einer Schleuse ist ein Extremfall, der möglicherweise nur von den wenigsten Simulatoren realitätsnah modelliert wird. Hierbei handelt es sich um das Zusammenwirken vieler schon angesprochener Leistungsmerkmale wie z. B. Flachwassereffekt, Banking-Effekt, Squat und Kanaleffekt.

Selbst, wenn ein Simulator alle diese Details gut modelliert, kommt noch ein zusätzlicher Effekt hinzu, der bisher noch nicht beschrieben wurde. Wenn ein Schiff in eine Schleuse einfährt, dann schiebt es das Wasser vor sich her. Dies ist besonders dann ausgeprägt, wenn die Schleusenbreite nur geringfügig größer ist als die Schiffsbreite und wenn das Schiff voll abgeladen ist. In dieser Situation kann das Wasser an den Seiten und unter dem Kiel nur sehr langsam aus der Schleusenkammer ausfließen, das durch den Bugstau der Wasserspiegel innerhalb der Schleusenkammer angehoben wird.

Dieser erzwungene Ausfluss führt zu einer stark erhöhten Rückströmung, die das Schiff stark verlangsamt. Zusätzlich erfährt das Schiff einen hecklastigen Trimm und es wirken

nicht unerhebliche Hangabtriebskräfte, die durch den Propellerschub kompensiert werden müssen. In extremen Situationen kann es dazu kommen, dass das Schiff stehen bleibt oder sogar über Grund zurück fährt, weil der Hangabtrieb und das ausströmende Wasser die Vorwärtsfahrt so stark beeinflussen, dass sie unmöglich wird.

Aus Modellversuchen und Simulationsrechnungen mit einer speziellen Schleusensoftware ist bekannt, dass die Änderung der Vorausgeschwindigkeit nicht konstant ist, sondern dass es zu Oszillationen durch das Schwappen des in der Kammer befindlichen Wassers und durch den sich ändernden Wasserspiegel und damit des Flottwassers am Heck kommen kann.

Abstufung der Ausprägung

- 1 In der Schleuse erfährt das Schiff nur die gleichen Effekte wie in einem Kanal.
- 2 Die dynamischen Effekte bei der Schleusenein- und -ausfahrt werden tendenziell richtig simuliert.
- 3 Die dynamischen Effekte bei der Schleusenein- und -ausfahrt werden qualitativ richtig simuliert.

Testverfahren

Für die Prüfung der Schleuseneffekte sind eine möglichst enge Schleuse und ein möglichst breites Fahrzeug erforderlich. Eine passende Größe ist die Befahrung einer Schleuse aus dem westdeutschen Kanalsystem ($W = 12 \text{ m}$) mit einem modernen großen Binnenschiff ($B = 11,4 \text{ m}$).

- Es wird geprüft, ob das Schiff bei Einfahrt in die Schleuse mit konstanter Propellerleistung langsamer wird.
- Es wird geprüft, ob das Schiff beim Verlassen der Schleuse mit konstanter Propellerleistung schneller wird.
- Ein Vorhandensein einer Rückströmung kann wie beim Kanaleffekt durch Vergleich Geschwindigkeit durch das Wasser und Geschwindigkeit über Grund aufgedeckt werden.
- Die hecklastige Vertrimmung kann im Sichtsystem überprüft werden, sofern alle 6 Freiheitsgrade berücksichtigt sind.
- Es wird geprüft, ob bei der Einfahrt mit hoher Propellerleistung (hohe Anfangsgeschwindigkeit) eine nichtlineare Änderung der Geschwindigkeit, der Vertrimmung und der Absenkung einschließlich nichtperiodischer Schwankungen festgestellt werden kann.

I. Grundberührung

Die realistische Simulation einer Grundberührung ist in der Binnenschifffahrt von großer Bedeutung. Bei der Modellierung der Flachwassereffekte (siehe Abschnitt 3.2.1d) ist der Extremfall von flachem Wasser die Grundberührung.

Diese kann entweder bei stetig abnehmender Wassertiefe auftreten oder sie kann sich als finales Ereignis bei immer weiterer Erhöhung der Geschwindigkeit durch die wachsende

Absenkung (siehe Abschnitt 3.2.1i) ereignen. In allen Fällen sollte die Fahrt des Schiffes drastisch abnehmen und das Fahrzeug schließlich zum Stillstand kommen.

Wenn möglich, ist die Grundberührung noch von einem entsprechenden Geräusch zu begleiten, wobei dieses hier jedoch eher als Warnung für den Schiffsführer zu sehen ist denn als echtes Geräusch. Wegen der Entfernung des Bugs vom Steuerhaus ist es kaum anzunehmen, dass ein Schiffsführer es tatsächlich hören kann, wenn der Bug auf Grund geht.

In bestimmten Fällen kann eine Grundberührung auch zu einer merkbaren Lageveränderung des Schiffes führen. Dies ist der Fall beim Auflaufen auf einen Strand. In diesem Fall ist zu erwarten, dass sich der Bug hebt.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Grundberührungen werden festgestellt (angezeigt), haben aber keinen Einfluss auf die Simulation.
- 2 Grundberührungen führen zum Stehenbleiben oder zum Abbruch der Simulation.
- 3 Grundberührungen führen zum Abbremsen einschließlich eines Geräuschs und einer Lageveränderung

Testverfahren

Für die Prüfung der Grundberührung ist ein Fahrtgebiet mit ebenem sowie einem sanft ansteigenden Boden erforderlich. Hiermit ist nicht die Darstellung im Sichtsystem, sondern die Hinterlegung entsprechender Tiefeninformationen im Simulator selbst gemeint.

- Beim Auflaufen auf den Strand kann geprüft werden, ob das Schiff überhaupt stoppt, abrupt anhält oder abbremsst.
- Beim Auflaufen kann auch eine Lageveränderung geprüft werden, wenn das Sichtsystem die Lage des Schiffes in allen 6 Freiheitsgraden darstellt.
- Bei Fahrt auf ebenem Boden mit extrem geringem Flottwasser kann geprüft werden, ob das Schiff durch den Squat aufsetzt, wenn die Geschwindigkeit stetig erhöht wird.
- Bei allen Grundberührungen kann geprüft werden, ob diese auch akustisch dargestellt werden.

m. Kollision Schiff-Land

Im Gegensatz zur Grundberührung ist bei einer Kollision in horizontaler Richtung wegen der sich bewegenden Masse des Schiffes und der Solidität des Kollisionsobjektes immer eine sehr heftige Reaktion zu erwarten. Die Bewegung wird fast sofort gestoppt, wobei bei einer plastischen Verformung eines Schiffes ein gewisses Knautschverhalten vorausgesetzt werden kann.

Um dies darzustellen, ist bei der Kollisionsberechnung ein entsprechend elastisches Modell vorzusehen, was nicht unbedingt bei jedem Simulator vorausgesetzt werden kann. Bei sehr ausgefeilten Modellierungen kann auch ein elastischer Stoß berechnet werden, bei dem das Eigenschiff vom Kollisionsobjekt zurückprallt.

Je nachdem, wie die Simulatorsoftware Kollisionen entdeckt, kann es sein, dass manche Objekte zur Kollision führen und manche nicht. Sollte der Simulator die ENC als Basis für derartige Berechnungen verwenden, ist zu prüfen, ob alle Objekte, mit denen Kollisionen möglich sein sollen, auch in der ENC über die Attribute verfügen, auf die die Software mit einer Kollision reagiert. Im negativen Fall durchfährt das Schiff ein Objekt und der Eindruck für die Probanden ist irritierend.

Bei Kollisionen sollte auch ein entsprechendes Geräusch ertönen. Dies ist im Gegensatz zur Grundberührung noch wichtiger, da eine echte Kollision mit großer Wahrscheinlichkeit von einem auf der Brücke hörbaren Geräusch begleitet wird.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Kollisionen Schiff-Land werden festgestellt (angezeigt), haben aber keinen Einfluss auf die Simulation. Die Kollisionsberechnung erfolgt nur an einem Punkt im Schiff.
- 2 Kollisionen Schiff-Land führen zum Stehenbleiben oder Simulationsabbruch. Die Kollisionsberechnung erfolgt anhand der Wasserlinienfläche.
- 3 Bei Kollisionen Schiff-Land wird ein elastisch-plastischer Stoß simuliert (mit Geräusch). Die Kollisionsberechnung erfolgt anhand der dreidimensionalen Schiffsform.

Testverfahren

Nur auf Übungsgebieten mit verschiedenen Objekten am Ufer kann die Simulation der Kollision Schiff-Land getestet werden.

- Durch Fahren gegen ein oder verschiedene Objekte kann festgestellt werden, ob der Simulator Kollisionen erkennt und darauf reagiert.
- Bei verschiedenen Objekten in der Karte sollte geprüft werden, ob es Typen gibt, bei denen der Simulator nicht mit einer Kollision reagiert.
- Das Geräusch kann über das Soundsystem des Simulators (falls vorhanden) geprüft werden.
- Die Beobachtung einer Kollision gibt Aufschluss darüber, ob die Kollision spontan erfolgt oder ob eine „Knautschzone“ simuliert wird.
- Eine Kollision im flachen Winkel mit geringer Geschwindigkeit kann zeigen, ob ein elastischer Stoß berechnet wird.

n. Kollision Schiff-Schiff

Im Gegensatz zu Kollisionen mit festen Objekten aus der Karte und Grundberührungen handelt es sich bei Kollisionen Schiff-Schiff um Annäherungen an bewegte Objekte des Simulators, bei denen festgestellt werden muss, ob der Abstand zu Null wird.

Schiffe werden in Simulatoren in der Karte meist durch ihren Umriss dargestellt. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um ein Eigenschiff oder ein Verkehrsschiff handelt, denn für die Kollision Schiff-Schiff kommt es nur auf den Abstand der Umrisspunkte zweier benachbarter Schiffe an.

Obwohl manchmal bei Simulatoren die bewegten Objekte durch spezielle Symbole dargestellt werden, sollte bei entsprechender Vergrößerung der tatsächliche Umriss auch zu sehen sein. Speziell bei Simulatoren für die Binnenschifffahrt mit den dort üblichen kleinen Maßstäben ist es wichtig, die genaue Kontur der verschiedenen Schiffe zu kennen und auch zu sehen.

Da die Kollisionen Schiff-Schiff mit denen Schiff-Land sehr ähnlich sind, wird bei diesem Leistungsmerkmal der Schwerpunkt auf die Umrissdarstellung gelegt, denn nur anhand dieser Informationen kann eine Kollision Schiff-Schiff im Detail berechnet werden. Da außerdem anzunehmen ist, dass die Qualität der Kollisionsberechnung gleich ist, werden bei der Abstufung der Ausprägung auch eine Knautschzone oder ein elastischer Stoß nicht berücksichtigt.

Während bei einfachen Systemen die Verwendung von angespitzten Rechtecken für eine plausible Kollisionsbestimmung ausreichen kann, ist in der Binnenschifffahrt – speziell bei Koppel- und Schubverbänden – eine genauere Angabe der Eck- und der Zwischenpunkte erforderlich, damit die mögliche Kollision im Sichtsystem auch mit der im Simulator berechneten möglichst gut übereinstimmt.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Kollisionen Schiff-Schiff werden festgestellt (angezeigt), haben aber keinen Einfluss auf die Simulation.
- 2 Kollisionen Schiff-Schiff führen zum Stehenbleiben oder Simulationsabbruch. Die Kollisionsberechnung erfolgt anhand der Wasserlinienfläche.
- 3 Bei Kollisionen Schiff-Land wird elastisch-plastischer Stoßes simuliert (mit Geräusch). Die Kollisionsberechnung erfolgt anhand der dreidimensionalen Schiffsform.

Testverfahren

Dieses Leistungsmerkmal kann in der beschriebenen Form auf jedem Übungsgebiet getestet werden. Unter der Voraussetzung, dass es für das Eigenschiff egal ist, ob das Fremdschiff, mit dem es kollidiert, ein anderes Eigenschiff oder ein Verkehrsschiff ist, können verschiedene Kollisionen durchgeführt werden.

- Es wird geprüft, welche Reaktion am Simulator beim Herbeiführen einer Kollision Schiff-Schiff für das Eigenschiff erfolgt und ob ein Geräusch zu hören ist.
- Es wird geprüft, ob auf der Steuerkonsole bei entsprechender Vergrößerung die Umrisse der beteiligten Schiffe sichtbar sind.
- Es wird geprüft, ob sich die Kollision genau dann ereignet, wenn sich die Schiffe berühren.
- Es wird geprüft, ob die Kollisionsdetektion für verschiedene Schiffe mit unterschiedlichen Rumpfformen exakt ist.

o. Kollision Schiff-Brücke

Eine Brücke ist ein Objekt, welches kollisionsfrei unterfahren werden kann. Insofern unterscheidet sie sich von den beim Abschnitt 3.2.1m behandelten festen Objekten.

In der Beschreibung des Fahrtgebietes, die bei den meisten Simulatoren auf der ENC beruht, ist für eine Brücke die Angabe einer Durchfahrtshöhe möglich. Mit der in der Datenbank beschriebenen Höhe des Schiffes ist es so möglich, festzustellen, ob das Schiff unter einer Brücke hindurch fahren kann.

Besonderheiten tauchen dann auf, wenn es sich um eine Bogenbrücke handelt. Dort ist als Durchfahrtshöhe meist die Höhe des Bogens am Rand des Fahrwassers angegeben. Wenn ein höheres Schiff in der Realität in der Mitte durch die Brücke fahren kann, ist es fraglich, ob dies auch im Simulator funktioniert.

Eine weitere Besonderheit ist bei der Berechnung des vertikalen Kollisionspunktes gegeben. Im einfachsten Fall wird hier ein Punkt verwendet, der dem Referenzpunkt des schiffsfesten Koordinatensystems entspricht. Dieser kann frei gewählt oder aber z. B. der Massenschwerpunkt des Schiffes sein. Bei Binnenschiffen ist die Schiffsbrücke meist hinten und damit der kritische Kollisionspunkt dort zu finden. Andererseits kann aber in der Praxis auch schon eine Kollision mit dem vorderen Mast erfolgen. Auch diese Situation sollte korrekt berechnet werden, wenn es darum geht, eine Kollision Schiff-Brücke realitätsgetreu zu simulieren.

Zuletzt ist auch die Breite der Brücke von Bedeutung. Wird für die Kollisionserkennung nur die Brückenachse verwendet, dann werden die Kollisionen zu spät detektiert. Gerade weil die Voraussicht im Simulator das Schiff voll abdeckt und die zu durchfahrende Brücke gut zu erkennen ist, sollte großer Wert auf eine realistische Kollision gelegt werden, damit die Akzeptanz des Simulators nicht durch derartige negativen Details beeinträchtigt wird.

Abstufung der Ausprägung

Neben dem Vorhandensein einer Kollisionserkennung mit Brücken wird bei diesem Leistungsmerkmal Wert auf die Lokalisierung der Kollisionspunkte gelegt. Aufgrund der Kombination zweier Details (Brückenform und Punkte auf dem Schiff) kann es möglich sein, dass ein spezieller Simulator bei den Anforderungskategorien zwischen den drei Kriterien angesiedelt ist, wenn nur ein Detail voll ausgeprägt ist.

- 1 Kollisionen Schiff-Brücke werden aufgrund eines Höhenwertes festgestellt (angezeigt), haben aber keinen Einfluss auf die Simulation.
- 2 Kollisionen Schiff-Brücke werden aufgrund eines Höhenwertes festgestellt (angezeigt) und führen zum Stehenbleiben oder zum Abbruch der Simulation.
- 3 Die Kollisionsdetektion Schiff-Brücke berücksichtigt die Form der Brücke und der Schiffsaufbauten. Eine Kollision führt zum Stehenbleiben oder zum Abbruch der Simulation.

Testverfahren

Um dieses Leistungsmerkmal zu untersuchen, muss im Übungsgebiet (ENC) eine Brücke vorhanden sein. Dabei ist es zur Prüfung der Ausprägung 3 angebracht, über eine Bogenbrücke zu verfügen.

- Es wird geprüft, ob bei der Durchfahrung einer Brücke mit zu geringem Freiraum eine Kollision erfolgt und welche Folgen das für den weiteren Simulationsablauf hat.

- Es wird geprüft, ob bei ausreichender Verringerung des Wasserstand oder Erhöhung des Tiefgangs eine kollisionsfreie Durchfahrt möglich ist. Dies sollte auch im Sichtsystem überprüft werden können.
- Verschiedene Fahrten sind erforderlich, um den Kollisionspunkt am Schiff zu prüfen, falls nur einer vorhanden ist. In diesem Fall kann auch lokalisiert werden, ob die Brücke in der Mitte oder an den Außenkanten eine Kollision herbeiführt.
- Eine Bogenbrücke wird an verschiedenen Stellen und bei verschiedenen Wasserständen unterfahren. Es wird geprüft, ob eine auftretende oder ausbleibende Kollision der Realität entspricht.

p. Hubbrücke

Im Gegensatz zu Seeschiffen mit generell starren Aufbauten ist bei Binnenschiffen, die (besonders auf Kanälen) unter teilweise relativ niedrigen Brücken hindurchfahren müssen, üblicherweise eine Hubbrücke vorgesehen. Wenn keine Höhenbeschränkung vorhanden ist, wird die Brücke so hoch gefahren, dass ein Blick über die Ladung möglich ist. Dies ist besonders bei Containerbeladung wichtig.

Um diese Funktionalität zu realisieren, muss das gesamte Steuerhaus von einem Start- zu einem Zielpunkt vertikal verschoben werden. Dies bedeutet nicht, dass der Simulatorfahrstand verfahren wird. Vielmehr müssen der Augpunkt des Schiffsführers vertikal verschoben und die geometrische Beschreibung des Schiffs, die für die Kollisionsdetektion verwendet wird (siehe Abschnitt 3.2.1o), entsprechend angepasst werden.

Die Veränderung der vertikalen Position der Hubbrücke hat auch einen Einfluss auf der Windeinfluss und das Rollverhalten des Schiffes. Inwieweit dies berücksichtigt wird, hängt auch davon ab, wie das System die Windwirkung generell in der Simulation berücksichtigt (siehe Abschnitt 3.2.1f) und ob die Simulation über mindestens 4 Freiheitsgrade verfügt (siehe Abschnitt 3.2.1a).

Neben dem Simulationskern ist aber auch das Sichtsystem von dieser Funktionalität betroffen. Der sich in der Höhe verschiebende Augpunkt muss dem Sichtsystem übermittelt werden und es muss diese Lageveränderung nachvollziehen.

Im Falle mehrerer Eigenschiffe, die sich gegenseitig sehen können, ist es dann auch zu erwarten, dass die Sichtmodelle der Fremdschiffe ebenfalls über eine visuell realisierte Hubbrücke verfügen, damit das Heben oder Senken des Steuerhauses für Dritte auch optisch wahrnehmbar ist. Dazu zählen auch die Lichter und Tagsignale, die auf einer realen Hubbrücke fest angebracht sind und die diese Vertikalbewegung auch im Sichtsystem mitmachen müssen.

Auf Verkehrsschiffen ist ebenfalls eine Hubbrücke denkbar, aber da dies nur den optischen Eindruck in der Verkehrssituation betrifft, kann darauf verzichtet werden, solange diese Funktion für Eigenschiffe verfügbar ist.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Hubbrücke kennt nur zwei Stellungen (oben/unten). Die Kollisionshöhe und der Augpunkt werden an die Position der Brücke angepasst.

- 2 Wie 1, nur dass sich die Brücke vertikal kontinuierlich auf jede beliebige Position einstellen lässt.
- 3 Wie 2, zusätzlich wird die Position der Hubbrücke (einschließlich der Lichter) für andere Eigenschiffe sichtbar.

Testverfahren

Voraussetzung zur Prüfung dieses Leistungsmerkmals ist die Bereitstellung eines typischen Binnenschiffes, z. B. eines GMS 110 m.

- Das grundsätzliche Vorhandensein dieser Funktionalität wird durch die Existenz eines Bedienelementes zur Verstellung der Brückenposition belegt.
- Die Funktion in der Simulation kann durch die Veränderung der Augpunktköhe überprüft werden. Es wird geprüft, ob sich beliebige Positionen einstellen lassen und ob das Verfahren plötzlich oder mit einer realistischen Geschwindigkeit erfolgt.
- Durch Einbringen eines zweiten Eigenschiffes in Sichtweite des eigenen Fahrzeugs kann getestet werden, ob die Hubfunktion auch in der Darstellung von Fremdschiffen realisiert ist.
- Es wird geprüft, ob Tag- und Nachtsignale auf dem zweiten Eigenschiff sich mit der Höhenveränderung der Fremdbücke synchron bewegen.

q. Leinenfunktion

Während in vielen Simulationsaufgaben der Schwerpunkt einer Übung auf die Navigation und das Steuern eines Schiffes gelegt wird, zählt im Zusammenhang mit dem Manövrieren auch die Verwendung von Leinen beim Festmachen zu möglichen Aufgaben, die mit einem Simulator trainiert werden können. Dies ist vor allem für Simulatoren in der Binnenschifffahrt relevant, da Anlegemanöver öfter durchgeführt werden als mit Seeschiffen.

Bei der Verwendung von Leinen ist zwischen verschiedenen Funktionen zu unterscheiden:

- **Reines Festmachen:** In diesem Fall wird eine Leine zu einem Uferpunkt ausgebracht und diese hält das Schiff dann an seiner Position.
- **Eindampfen:** Statt nur die Leine zur Positionssicherung zu verwenden, kann sie auch als dynamisches Element eingesetzt werden. Im Fall des „Eindampfens in die Spring“ wird durch sie eine Haltekraft von Poller zu Poller erzeugt, die unterstützend beim Anlegen verwendet werden kann.
- **Aktives Verholen:** Ist die Leine mit einer Winde ausgestattet, kann sie auch zum aktiven Bewegung eines Schiffes (z. B. entlang einer Pier) verwendet werden.

Im Gegensatz zu einer Verbindungsstange, die eine Kraft übertragen kann und durch eine maximale Last gekennzeichnet ist, besitzt eine Leine die zusätzliche Eigenschaft der Elastizität. Damit werden die Verbindungen in gewissem Maße beweglich, indem die definierten Abstände geringfügig schwanken können. Diese Charakteristika einer Leine können in einer Datenbank abgelegt und dem Benutzer so eine Vielzahl von Leinen zur Verfügung gestellt werden. Gleiches gilt für eventuell vorhandene Winden, die sich durch Maximalkraft und Einholgeschwindigkeit auszeichnen.

Bezüglich des Sichtsystems ist für eine gute Akzeptanz der Durchhang einer nicht oder nur gering belasteten Leine von Bedeutung. Eine simple Linie in der 3-D-Darstellung lässt zwar die Leine erkennen, aber ihr Belastungszustand ist dann optisch nicht einschätzbar.

Eine Leine benötigt immer Angriffspunkte. Diese können entweder im System vordefiniert werden, indem die Positionen der Poller vorgegeben werden, oder sie sind frei wählbar. Dies gilt sowohl für das Schiff als auch für Angriffspunkte an Land oder sogar auf anderen Schiffen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Einfache Leinenfunktion ohne Winde mit starrer Linie im Sichtsystem
- 2 Wie 1, jedoch hängt die Leine entsprechend ihrer Belastung im Sichtsystem durch.
- 3 Berücksichtigung aller Details einschließlich Elastizität, Bruchlast, Winde und Durchhang im Sichtsystem

Testverfahren

In einem Übungsgebiet mit Kaimauer kann das Festmachen mit einer Leine bzw. einer Winde überprüft werden.

- Das Vorhandensein einer bzw. verschiedener Leinen bzw. Winden ist gegeben, wenn die entsprechenden Bedienelemente vorhanden sind.
- Durch Ausbringen einer Leine kann die Existenz von Pollerpunkten festgestellt werden, wenn sie dort „einrastet“.
- Das Bruchverhalten kann geprüft werden, indem man versucht, ein Schiff aus voller Fahrt mit einer Leine zu stoppen.
- Bringt man von einem Schiff mitten im Hafenbecken vier Leinen in alle Richtungen aus, können die Elastizität, die Funktion von Winden und die Reaktion des Schiffes im Simulator getestet werden. Es kann geprüft werden, ob die Darstellung des Durchhangs im Sichtsystem realistisch wiedergegeben wird, wenn die Leine lose kommt.

r. Ankerfunktion

Ein Anker ist von der Modellierung stark mit der Leine verwandt. Als bordseitige Angriffspunkte müssen die Ankerklüsen definiert werden. Landseitige Angriffspunkte sind nicht erforderlich, da ein Anker an jeder Stelle des Fahrwassers gesetzt werden kann.

Dieser Angriffspunkt hat in der Realität jedoch gewisse Eigenschaften, die bei einer sehr realistischen Modellierung berücksichtigt werden sollten. Die Haltekraft eines Ankers (nicht zu verwechseln mit der Bruchlast der Kette) ist abhängig vom Ankertyp, seiner Größe bzw. seinem Gewicht und den physikalischen Eigenschaften des Ankergrundes. Hier können Beiwerte für die Haltekraft definiert werden, je nachdem wie gut ein bestimmter Grund hält.

Ist die Haltekraft des Ankers überschritten, sollte er slippen, d. h. mit einer bestimmten Reibkraft über den Boden bewegt werden. Unterschreitet die Zugkraft an der Kette die Reibkraft, dann greift der Anker wieder.

Die Dynamik der Kette entspricht der der Leine mit dem Unterschied, dass das Eigengewicht nicht vernachlässigt werden kann. Sie kann im Maximalfall straff gespannt sein, im Normalfall durchhängen und im anderen Extrem von der Ankerklüse senkrecht herabhängen und auf dem Boden liegen. In allen drei Fällen übt der Anker eine unterschiedliche Zugkraft auf das Schiff aus. Die Größe dieser Kraft ist abhängig von verschiedenen Parametern wie dem horizontalen Abstand zwischen der Ankerklüse und dem Ankerpunkt, der Kettenlänge, der Wassertiefe und dem Gewicht der Kette pro Meter.

Die Bruchlast der Kette liegt meist über der Haltekraft des Ankers. Ist dies nicht der Fall, dann sollte die Kette auch tatsächlich reißen und der Anker aus dem System verschwinden. Es ist aber fraglich, ob die Modellierung dieses Details für einen Simulator (speziell für die Binnenschifffahrt) erforderlich ist. Gleiches gilt für die Windenkraft. Es mag angebracht sein, bei zu starker Ankerlast des Einholen zu blockieren, aber ob ein Ankerverlust durch Überschreiten des Kettengewichts gegenüber der Windenkraft nachgebildet werden sollte, ist fraglich.

Das Ausbringen eines Ankers geschieht durch Fallenlassen. Dies erfolgt in der Praxis relativ schnell und kann nach Erreichen einer gewünschten Kettenlänge gestoppt werden. Das Einholen eines Ankers dagegen geschieht langsam und erfordert eine gewisse Zeit, die in der Echtzeitumgebung eines Simulators auch verstreichen sollte, um diesen Vorgang überzeugend nachzubilden.

Erst wenn diese physikalischen Gesetzmäßigkeiten korrekt im Simulator implementiert sind, ist man in der Lage, Ankermanöver realistisch nachzubilden und zu üben. Gerade das Training von Notmanövern kann nur dann erfolgreich verlaufen, wenn z. B. die Zustände Halten, Slippen und Kettenbruch bei unterschiedlicher Last überzeugend dargestellt werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Anker können gesetzt und gelichtet werden, die Verankerung berücksichtigt nicht die Wassertiefe, die Dynamik der Kette oder Eigenschaften des Ankergrunds.
- 2 Wie 1, zusätzliche werden die Wassertiefe und die Dynamik der Kette berücksichtigt.
- 3 Wie 2, zusätzlich werden die Eigenschaften des Ankergrunds berücksichtigt.

Testverfahren

In einem Übungsgebiet mit begrenzter Wassertiefe und einem Eigenschiff mit einem oder mehreren Ankern kann die Ankerfunktion untersucht werden. Sinnvoll ist auch das Einschalten einer konstanten Strömung, deren Geschwindigkeit variiert werden kann.

- Das Ausbringen und Einholen des Ankers ist nur möglich, wenn entsprechende Bedienelemente auf der Brücke vorhanden sind. Es ist dabei auch zu prüfen, ob Instrumente vorhanden sind, die die Kettenlänge anzeigen.
- Es wird geprüft, ob sich die Geschwindigkeiten beim Ausbringen und Einholen unterscheiden. Dabei kann auch festgestellt werden, ob entsprechende Geräusche zu hören sind.
- Durch Variation der Wassertiefe kann geprüft werden, ob die Wassertiefe Einfluss auf die Ankerfunktion hat.

- Bei geringer Strömungsgeschwindigkeit wird geprüft, ob sich das Schiff nach dem Ankerwerfen an der Kette auspendelt.
- Bei kontinuierlicher Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit wird geprüft, ob der Anker anfängt zu slippen und ob dies abhängig von der Beschaffenheit des Ankergrundes, des Ankergewichts und des Gewichts der Kette ist.
- Sollte ein Anker allein nicht halten, wird geprüft, ob das Schiff zum Stillstand kommt, wenn sich beide Ketten gestreckt haben.

s. Schleppfunktion

Während das Einlaufen in einen Hafen mit Schlepperunterstützung für Seeschiffe ein häufig durchgeführtes Manöver ist und auf Simulatoren trainiert wird, ist dies in der Binnenschifffahrt selten der Fall. Die Schleppschifffahrt existiert praktisch nicht mehr und Binnenschiffe manövrieren üblicherweise mit eigenen Propulsions- und Steuerorganen.

Es gibt jedoch auf dem Rhein die Situation, dass im so genannten „Gebirge“ bei zu starker Strömung ein Vorspann angefordert wird. Dieser Schlepper wird zwar nicht zum Bugsieren verwendet, sondern unterstützt nur die Maschine des geschleppten Schiffes, aber die Modellierung dieses Problems unterscheidet sich nicht von der Schlepperunterstützung von in den Hafen einlaufenden Seeschiffen.

Schleppen ist genau wie Ankern wieder eng mit der Leinenfunktion verwandt. Der einzige Unterschied zum Ausbringen von Festmacherleinen ist die Tatsache, dass der vorher landseitige Angriffspunkt sich jetzt auf einem bewegten Objekt befindet.

Beim Schleppen im Simulator ist zu unterscheiden, ob der Schlepper ein Eigenschiff oder ein Verkehrsschiff ist oder sein kann. Im einfachen Fall eines Verkehrsschiffes, welches dann z. B. vom Leiter der Übung oder einem Assistenten gesteuert wird, kann die Eigendynamik des Schleppers nur grob nachgebildet werden. Dies reicht in vielen Fällen aus, da es bei Bugsiermanövern hauptsächlich darum geht, z. B. den Bug durch Anfordern einer bestimmten Kraft zur Seite zu bewegen.

Nur wenn beide Schiffe Eigenschiffe bzw. Schiffe sind, deren Dynamik vollständig simuliert wird, ergibt sich eine aussagekräftige Simulation, die zur Ausbildung verwendet werden kann. Sobald die Dynamik eines am Schleppvorgang beteiligten Schiffes unberücksichtigt bleibt, weicht das Schleppverhalten stark von der Realität ab und die Simulation hat keine Aussagekraft.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Von einem Eigenschiff kann nur zu einem Verkehrsschiff eine Schleppverbindung aufgebaut werden.
- 2 Beim Schleppvorgang wird die Dynamik beider beteiligter Schiffe und der Leinenverbindung berücksichtigt.
- 3 Wie 2, zusätzlich kann an der Schleppwinde eine konstante Kraft vorgegeben werden.

Testverfahren

Das Fahrtgebiet zum Prüfen der Schleppfunktionalität kann ein offenes Seegebiet sein. Neben dem schleppenden oder geschleppten Eigenschiff ist ein Fremdschiff (Eigen- oder Verkehrsschiff) erforderlich.

- Die grundlegende Voraussetzung zum Schleppen kann durch das Ausbringen einer Schleppleine zwischen einem Eigenschiff und einem Fremdschiff getestet werden.
- Ist dies nicht möglich, kann geprüft werden, ob zumindest eine alternative Methode zur Kraftvorgabe eines virtuellen Schleppers gegeben ist.
- Es wird geprüft, ob das als Vorspann schleppende Fremdschiff das geschleppte Eigenschiff beschleunigen und auch durch schrägen Zug zum Drehen bringen kann.
- Es wird geprüft, ob das schleppende Eigenschiff das Fremdschiff durch entsprechende Manöver in Bewegung setzen und stoppen kann und ob durch schrägen oder seitlichen Zug das Fremdschiff auch in Rotation versetzt werden kann.
- Es wird geprüft, ob bei Variation der Leinenlänge bei Geradeausfahrt und konstanter Geschwindigkeit der Schleppverband nach einer gewissen Zeit in Schwingungen gerät.

3.2.2 Verkehrsschiffe

Verkehrsschiffe dienen vornehmlich dazu, als sichtbare Ziele am Verkehr teilzunehmen und die Übungssituation lebhafter bzw. schwieriger zu gestalten. Der Begriff *Verkehrsschiff* ist nicht mit dem Begriff *Fremdschiff* zu verwechseln: Ein Fremdschiff ist jedes Schiff, das von der Brücke oder auf dem Radar des Eigenschiffes gesehen wird. Bei einem Fremdschiff kann es sich um ein Verkehrsschiff oder um ein Eigenschiff (eines anderen Probanden in derselben Simulation) handeln.

Im Gegensatz zu den Eigenschiffen werden bei Verkehrsschiffen keine dynamischen Eigenschaften simuliert. Ihre Bewegung wird durch den Instruktor oder den Simulator gesteuert. Es ist dabei stets darauf zu achten, dass sich das Verkehrsschiff realistisch verhält.

In der Sichtdarstellung wird bei Fremdschiffen üblicherweise kein Unterschied zwischen Eigenschiffen und Verkehrsschiffen gemacht, sodass der Proband aufgrund des optischen Bildes nicht beurteilen kann, ob das Fremdschiff manuell gesteuert ist oder ob es vom Simulator geführt wird.

Die Unterscheidung zwischen Eigenschiffen und Verkehrsschiffen kann aber auch verschwimmen, je nachdem wie der Simulator ausgelegt oder konzipiert ist.

- Auf Simulatoren geringer Qualität kann es sein, dass das Bewegungsverhalten des Eigenschiffes so einfach modelliert ist, dass es nur die Qualität eines Verkehrsschiffes aufweist.
- Verkehrsschiffe können automatisch gesteuert sein. Dies ist der Fall, wenn ein Autopilot oder ein Bahnführungs- oder Positionierungssystem die Kontrolle über die Bewegung übernimmt. Damit wird die Bewegung des Verkehrsschiffes vorprogrammiert, was besonders dann hilfreich ist, wenn dieselbe Verkehrssituation oft wiederholt werden soll.

- In einer weiteren Entwicklungsstufe kann der Simulator ein Verkehrsschiff so steuern, dass es sich – im Sinne einer künstlichen Intelligenz – so verhält, als ob es von einer echten Person gesteuert würde.
- Verkehrsschiffe können auf hoch entwickelten Simulatoren mit ausreichender Rechenleistung auch so komplex gestaltet sein, dass sie viele der in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Merkmale (z. B. Interaktion mit anderen Objekten) aufweisen.
- Verkehrsschiffe können auch manuell gesteuert sein. Dies kann an der Instruktor-konsole oder durch einfache Fahrkonsolen erfolgen, die mit rotierenden Reglern für Ruder bzw. Kurs und Schiebern für die Drehzahl oder die Geschwindigkeit ausgestattet sind. Dadurch können mehrere Verkehrsschiffe von einer Person kontrolliert werden und so aktiv am Verkehr teilnehmen statt passiv Bahnpunkten oder Routen zu folgen.

Leistungsmerkmale

- a. Anzahl
- b. Steuerung
- c. Bewegungsverhalten
- d. Windeinfluss
- e. Strömungseinfluss

a. Anzahl

Bei Seeschiffssimulatoren ist der Bedarf an Verkehrsschiffen meist nicht sehr groß. In der Binnenschiffahrt hingegen besteht oft ein Bedarf an einer großen Anzahl von Verkehrsteilnehmern, um die Verkehrssituation lebhaft bzw. komplex und schwierig zu gestalten.

Besonders bei relativ einfach konzipiertem Bewegungsverhalten von Verkehrsschiffen ist es bei der heutzutage verfügbaren Rechenkapazität kein Problem, im System eine große Anzahl zu realisieren. Bei einer großen Anzahl tauchen jedoch neue Schwierigkeiten auf.

- **Generierung:** Jedes Verkehrsschiff muss definiert werden, indem es aus einem Katalog ausgewählt und an einer Stelle des Lagedisplay platziert wird. Dies kann je nach Anzahl einige Zeit in Anspruch nehmen. Wenn der Simulator mit der Option von ladbaren, vorgefertigten Übungen ausgestattet ist, muss dieser Prozess nur einmal vorgenommen werden.
- **Kontrolle:** Jedes Verkehrsschiff soll sich so bewegen, dass die Fahrt möglichst echt wirkt. Dies bedeutet entweder manuelle Steuerung durch einen Instruktor oder Assistenten oder es sind Automatismen vorhanden, die die Bahnführung der Verkehrsschiffe übernehmen.

Abstufung der Ausprägung

Bei einer größeren Anzahl möglicher Verkehrsschiffe sind Zusatzoptionen des Simulators wie oben erforderlich, um diese Zahl auch handhaben zu können. Sie sind zwar an anderer Stelle auch als Leistungsmerkmal aufgeführt, werden aber hier in Abhängigkeit von der Menge auch implizit vorausgesetzt.

- 1 Bis zu 10 Verkehrsschiffe, ohne Zusatzoptionen
- 2 11 bis 99 Verkehrsschiffe, Zusatzoptionen teilweise oder vollständig vorhanden
- 3 100 und mehr Verkehrsschiffe, Zusatzoptionen zur Generierung und Kontrolle vielfältig vorhanden

Testverfahren

Die Überprüfung des Leistungsmerkmals „Anzahl“ ist von der Steuerkonsole des Simulators relativ leicht möglich.

- Das Studium des Handbuchs des jeweiligen Simulators gibt Aufschluss über die vom Hersteller garantierte Anzahl von simultan einsetzbaren Verkehrsschiffen. Hierbei ist zu beachten, ob bei der Möglichkeit von parallelen Übungen die maximale Anzahl für alle Übungen zusammen oder für jede Übung einzeln gilt.
- Durch fortlaufende Erzeugung von Verkehrsschiffen im System kann geprüft werden, ob der Simulator die versprochene Leistung auch liefert.
- Beim Aufsetzen einer Übung kann festgestellt werden, ob der Simulator das Laden einer vorgefertigten Übung mit Verkehrsschiffen ermöglicht. Außerdem ist zu prüfen, ob während oder beim Beenden einer Übung die Möglichkeit besteht, die aktuelle Situation mit den generierten Verkehrsschiffen abzuspeichern.
- Ist ein Verkehrsschiff erzeugt, ist zu prüfen, ob eine Kontrolloption angeboten wird, um dieses entweder Wegpunkte abfahren oder aber es einer vordefinierten Bahn oder Route folgen zu lassen.

b. Steuerung

Das Ziel der Steuerung von Verkehrsschiffen besteht darin, in der Simulationsumgebung bewegte Objekte zu kontrollieren, die eine möglichst realitätsnahe Bewegung ausführen.

Bei der Steuerung kann zwischen automatischer und manueller Bewegungskontrolle unterschieden werden.

Für die manuelle Steuerung ist der Instruktor oder ein Assistent zuständig, der die Simulation beobachtet und ein oder auch mehrere Verkehrsschiffe kontrolliert. Erforderlich sind Eingabemöglichkeiten in der Bedienerkonsole des Simulators oder aber reale oder generische Elemente wie Drehknöpfe, Bedienhebel oder Schieber.

Die automatische Steuerung kann über Wegpunkte oder Routen erfolgen. Je nach Ausführung des Simulators können diese gespeichert werden oder müssen vor jeder Übung neu definiert werden.

Wegpunkte können z. B. dazu verwendet werden, um ein Verkehrsschiff von einem Liegeplatz wegfahren zu lassen, wenn der Instruktor dies wünscht. Wenn das Verkehrsschiff über diese Option verfügt, beschleunigt es auf die geforderte Endgeschwindigkeit und fährt einen Wegpunkt nach dem anderen ab. Wie es sich dabei verhält, wird im Abschnitt 3.2.2c beschrieben.

Während durch Wegpunkte alleine Koordinaten vorgegeben werden, die das Schiff nacheinander abfährt, können in Routen auch Geschwindigkeiten und Bahnkurven definiert werden.

Eine Route kann aus einem Polygonzug aus Wegpunkten entwickelt werden. An den Wegpunkten kann die Bahn durch Radien oder andere mathematische Funktionen definiert werden, die auch in der zweiten Ableitung stetig sind. Dies führt zu einem Anwachsen der Drehgeschwindigkeit bis zu einem Maximalwert und einem Absinken auf den Wert Null beim Übergang auf das nächste Geradenstück. Für Routenabschnitte können Geschwindigkeiten vorgegeben werden, die das Verkehrsschiff entweder ruckartig oder inkrementell annimmt (siehe Abschnitt 3.2.2c).

Um einen durchgehenden Verkehr im Simulator darstellen zu können, kann eine Route auch so definiert werden, dass Anfangs- und Endpunkt zusammenfallen und damit eine ununterbrochen Fahrt aller Schiffe gewährleistet ist. Die Wendestellen sollten so weit vom Simulationsszenario entfernt platziert werden, dass die Probanden diese Richtungsumkehr nicht im Sichtsystem beobachten können.

Wenn das Verkehrsschiff durch den Simulator mit künstlicher Intelligenz gesteuert wird, kann auch hier eine Route vorgegeben werden, wobei das Verkehrsschiff aber z. B. eigenständig ausweichen oder die Geschwindigkeit dem Verkehrsfluss anpassen kann. Es ist auch vorstellbar, dass das Verkehrsschiff computergesteuert eigenständig Aufgabe erfüllt (z. B. Fahren von A nach B mit Zeitvorgabe).

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Verkehrsschiffe können Wegpunkte abfahren.
- 2 Die Verkehrsschiffe können Routen abfahren. Diese Routen enthalten Attribute, die sie gegenüber der Wegpunktverfolgung in der Qualität hervorheben.
- 3 Verkehrsschiffe können computergesteuert das Verhalten menschlicher Schiffsführer nachahmen und unter bestimmten Randbedingungen autonom fahren.

Testverfahren

Im Handbuch sind in der Regel die verschiedenen Steuerungsmöglichkeiten eines Verkehrsschiffes beschrieben. In der Praxis ist jedoch immer zu prüfen, ob die beschriebenen Funktionen auch tatsächlich verfügbar sind.

- Die Eingabemöglichkeiten für die manuelle Steuerung eines Verkehrsschiffes können aus Tastatur, Maus oder echten Geräten wie Drehknöpfen oder -hebeln bestehen.
- Bei Tastatureingaben ist manchmal zwischen „Soll“ und „Ist“ zu unterscheiden. Dies deutet darauf hin, dass mit „Soll“ z. B. eine Vorgabe für den Kurs eingestellt wird, der vom System durch Anwendung einer endlichen Drehgeschwindigkeit langsam von „Ist“ auf „Soll“ geändert wird.
- Es ist zu prüfen, ob an der Steuerkonsole Möglichkeiten für die Steuerung über Wegpunkte oder Routen vorhanden sind.
- Bei der Routenerstellung ist zu bewerten, welche Zusatzoptionen vorhanden sind und ob sie auch vom Simulator in die Praxis umgesetzt werden.
- Sofern der Simulator Verkehrsschiffe autonom computergesteuert fahren kann, ist zu prüfen, ob das Fahrverhalten dem eines Menschen entspricht.

c. Bewegungsverhalten

Die Art der Bewegung eines Verkehrsschiffes hängt von der Programmierung dieser Objektklasse im Simulator ab. In verschiedenen Stufen, die im Folgenden beschrieben werden, kann diese von „ruckartig“ bis „fließend“ variieren. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass bei manchen Bewegungsarten eine Steuerung über Wegpunkte, vorgefertigte Routen oder manuell erforderlich ist. Die Beschreibung der unterschiedlichen Bewegungsarten erfolgt in aufsteigender Reihenfolge von „schlecht“ bis „sehr gut.“

- Zwischen zwei Wegpunkten A und B fährt das Verkehrsschiff mit konstanter Geschwindigkeit. Beim Übergang von AB auf BC (Eckpunkt eines Polygons) ändert das Verkehrsschiff abrupt seinen Kurs und eventuell auch seine Geschwindigkeit. Dies ist ein Beispiel für eine einfache Wegpunktsteuerung.
- Wie vorher, aber beim Übergang von AB zu BC ändert das Verkehrsschiff seinen Kurs mit einer in der Datenbank hinterlegten konstanten Drehgeschwindigkeit. Im Sichtsystem ist dann immer noch ein Übergang von Drehgeschwindigkeit Null auf die konstante Drehgeschwindigkeit feststellbar. Das Abknicken der Bahn führt dabei zu einer unnatürlichen Driftbewegung beim Drehen.
- Eine weitere mögliche Verbesserung der Bewegung kann in der Implementierung eines typischen Driftverhaltens bei Kurvenfahrt erfolgen, damit ist die Nachbildung einer natürlichen Bewegung fast vollständig erreicht.
- Bei manueller Steuerung kann das Verkehrsschiff so programmiert sein, dass es den Befehlen sofort und ruckartig folgt. Es können jedoch auch Verfeinerungen programmiert werden wie das Einhalten einer konstanten Drehgeschwindigkeit, das Anwachsen auf einen Maximalwert und das Abfallen auf Null sowie die Implementierung einer zusätzlichen Drift in Abhängigkeit von der Drehgeschwindigkeit.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Ruckartiges Bewegungsverhalten
- 2 Einigermaßen fließendes Bewegungsverhalten
- 3 Natürliches Bewegungsverhalten

Testverfahren

Für die Überprüfung der Ausprägung dieses Merkmals auf dem Simulator müssen das Handbuch, die Ausstattung des Simulators und die Funktionalitäten der Steuerkonsole herangezogen werden.

- Das Vorhandensein der verschiedenen Ausprägungen wird durch Testfahrten der Verkehrsschiffe am Simulator geprüft. Hierbei sind alle gegebenen Steuerungsmöglichkeiten (manuell, Wegpunkte und Routen, künstliche Intelligenz) anzuwenden und es ist das Bewegungsverhalten der Verkehrsschiffe zu beobachten.
- Dabei ist die Geschwindigkeit bei manueller oder automatischer Änderung aufzuzeichnen und die Beschleunigung bzw. Verzögerung zu bewerten.
- Außerdem ist die Änderung der Drehgeschwindigkeit und das Auftreten eines Driftwinkels aufzuzeichnen und zu bewerten.

d. Windeinfluss

Von Verkehrsschiffen wird erwartet, dass sie sich entlang der vorgegebenen Linie bewegen. Das Vorhandensein von Wind beeinflusst jedoch in der Realität das Bewegungsverhalten von Schiffen.

Bei Seitenwind weicht das Schiff (bei festgelegtem Kurs) von der geplanten Bahn nach Lee ab oder es folgt der Linie unter Einnahme eines Driftwinkels. Dadurch wird ein naturgetreues Verhalten bewirkt, was besonders bei Fahrten auf engen Gewässern wie Kanälen zu realistischen Simulationen führt.

Bei Gegenwind ist eine Verlangsamung, bei Rückenwind eine Erhöhung der Geschwindigkeit zu erwarten.

Eine Verfeinerung der Windberücksichtigung kann dadurch erreicht werden, dass dem Verkehrsschiff gewisse Attribute zugefügt werden können, die z. B. die Windempfindlichkeit (Windangriffsflächen) in einfacher oder aufwendiger Modellierung beschreiben. Dies kann statisch durch Vorgabe in der Modelldatenbank oder dynamisch durch interaktive Eingriffe des Instructors geschehen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem reinen Ein- und Ausschalten des Windeinflusses und der graduellen Einstellung.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Verkehrsschiffe reagieren nicht auf vorgegebenen Wind, sondern folgen der vorgegebenen Bahn.
- 2 Die Verkehrsschiffe reagieren auf vorgegebenen Wind und steuern, z. B. durch Einnehmen eines Driftwinkels, dagegen an.
- 3 Die Verkehrsschiffe reagieren auf vorgegebenen Wind und die Reaktion ist vordefinierbar bzw. auch dynamisch beeinflussbar.

Testverfahren

Zur Prüfung dieses Leistungsmerkmals reicht es aus, ein Verkehrsschiff auf einem beliebigen Gebiet zu laden und Wind zu definieren. Sollte der Simulator nicht über die Windoption verfügen, ist dieser Test nicht durchführbar und das Leistungsmerkmal nicht vorhanden.

- Es wird geprüft, ob das Schiff bei Seitenwind entweder vom vorgegebenen Kurs nach Lee abweicht (manuelle Kurssteuerung) oder aber beim Verfolgen von Wegpunkten oder einer Route einen Driftwinkel mit Bug zum Wind hin einnimmt.
- Es wird geprüft, ob das Verkehrsschiff bei Gegenwind langsamer und bei Rückenwind schneller fährt.
- Zusätzliche Optionen wie An- und Abschalten des Windeinflusses oder interaktive Eingriffe können getestet werden, wenn diese Optionen an der Bedienkonsole verfügbar sind.

e. Strömungseinfluss

Im Gegensatz zur Seeschifffahrt ist die Strömung in der Binnenschifffahrt von besonderer Bedeutung. Dies gilt vor allem für Eigenschiffe, ist aber auch für ein realistisches Bewegungsverhalten von Verkehrsschiffen von Bedeutung.

Bei seitlicher Strömung ist der Effekt dem Seitenwind vergleichbar – es erfolgt entweder ein Versatz oder es ist zur Einhaltung einer vorgegebenen Bahn ein Driftwinkel erforderlich. Bei der Fahrt auf Flüssen ist jedoch für Verkehrsschiffe meist der Fall der Berg- oder Talfahrt relevant. Die Strömung führt dabei zu einer Erhöhung oder Erniedrigung der Geschwindigkeit durchs Wasser (V_{dw}) und damit zur Geschwindigkeit über Grund ($V_{üG}$). Bei der Vorgabe der Geschwindigkeit von Verkehrsschiffen ist daher darauf zu achten, ob der Sollwert V_{dw} oder $V_{üG}$ ist.

Beim Ein- und Ausfahren aus Gebieten mit Strömung in Stillwasserzonen erfährt das Schiff durch die unterschiedlichen Angriffspunkte der Strömung ein Giermoment. Bei einem Verkehrsschiff, welches einer Bahn folgt, müsste dies zu einer stetigen Veränderung des Anstellwinkels führen, welcher den Stromversatz kompensiert. Diese stetige Änderung kann aber auch durch einen Gradienten bei der Änderung der Drehgeschwindigkeit erzeugt werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Verkehrsschiffe reagieren nicht auf die Strömung, sondern folgen der vorgegebenen Bahn.
- 2 Die Verkehrsschiffe reagieren auf die vorgegebene Strömung und steuern, z. B. durch Einnehmen eines Driftwinkels, dagegen an.
- 3 Wie 2, zusätzlich reagieren Verkehrsschiffe auch auf lokale Änderungen der Strömung.

Testverfahren

Dieses Leistungsmerkmal kann geprüft werden, indem ein Verkehrsschiff in Bergfahrt, in Talfahrt und beim Einfahren vom Fluss in einen Hafen untersucht wird. Dazu muss jedoch auch eine Strömung im Simulator vorhanden sein, wie sie für den Strömungseinfluss beim Eigenschiff diskutiert wurde.

- Es ist zu prüfen, ob bei gleicher Geschwindigkeitsvorgabe (V_{dw}) Bergfahrer über Grund langsamer und Talfahrer schneller fahren.
- Es ist zu prüfen, ob bei Geschwindigkeitsvorgabe $V_{üG}$ zumindest im Sichtsystem das Wellenbild bei gleicher Vorgabe unterschiedlich ist.
- Es ist zu prüfen, ob beim Queren einer Strömung sich bei Einhaltung einer gegebenen Bahn ein Anstellwinkel zeigt und ob bei Einfahrt in einen Hafen aus einem strömenden Gewässer der Anstellwinkel schließlich verschwindet.
- Weiterhin ist zu prüfen, ob bei Ausfahrt aus einem Hafen das Verkehrsschiff von der Strömung merklich erfasst wird und dabei seinen Kurs ändert (Verfolgen einer Bahn) oder aber bei konstanter Bahn einen Anstellwinkel einnimmt.

3.3 Ausgabesysteme

3.3.1 Sichtsystem

Das Sichtsystem umfasst alle Geräte und Software, die zur Darstellung des Simulationsgebiets verwendet werden. Zur Darstellung werden Bildschirme oder Projektoren verwendet. Bildschirme können einzeln verwendet oder in Gruppen angeordnet werden.

Projektionen erfolgen in der Regel auf eine gekrümmte Leinwand, in deren Kreismittelpunkt sich der Proband befindet. Die Darstellung mittels eines Head-Mounted-Displays erscheint in Schiffsführungssimulatoren nicht sinnvoll. Es ist aber zu erwarten, dass zukünftig nichtplanare Monitore in Größen verfügbar sind, die bisher nur durch Projektionen erreicht werden.

Die Projektions- bzw. Darstellungsfläche sollte so weit entfernt sein, dass das Auge auf unendliche Entfernung fokussieren kann, also mindestens ca. 6 m. Gleichzeitig kann kein Objekt dargestellt werden, dass sich näher als der Projektionsabstand beim Beobachter befindet. Dieser Mangel könnte zwar grundsätzlich durch eine stereoskopische Darstellung behoben werden; aufgrund der geringen Bedeutung sehr naher Objekte wird darauf jedoch bei Schiffsführungssimulatoren gemeinhin verzichtet.

Die Darstellung kann der Sicht eines Menschen entsprechen, der sich an einem beliebigen Standpunkt mit beliebiger Blickrichtung befindet. Es können aber auch die Darstellungen anderer Bild gebender Geräte an Bord (z. B. Videokameras, Nachtsichtgeräte, Ferngläser) simuliert werden.

Die Bildberechnung erfolgt in der Regel auf dedizierten, möglichst leistungsfähigen Computern, die von der eigentlichen Simulation unabhängig arbeiten. Der Anspruch an die Rechenkapazität bei der Bilderzeugung ist sehr hoch. Es sind z. Zt. keine Rechnersysteme verfügbar, die die bestmögliche, fotorealistische Darstellung in Echtzeit erzeugen können.

Leistungsmerkmale

- a. Bildausschnitt und -größe
- b. Auflösung und Bildrate
- c. Detaillierung
- d. Wasseroberfläche
- e. Sonne, Mond, Himmelskörper
- f. Wetter
- g. zusammengesetzte Darstellungen

a. Bildausschnitt und -größe

Der Bildausschnitt bezeichnet den horizontalen und vertikalen Sichtwinkel bzw. als Relativangabe den abgebildeten Teil des realen Sichtwinkels. Das Gesichtsfeld des Menschen hat einen horizontalen Winkel von ca. 180° und einen vertikalen von ca. 130°. Hinzu kommen die Kopfbewegungen innerhalb der Projektion. Der maximal sinnvolle Sichtwinkel entspricht damit für die Sicht des Schiffsführers vom Fahrstand dem maximalen Sichtfeld auf der Brücke. In der Regel ist der reale horizontale Sichtwinkel kleiner als 360°, da Wände auf der Rückseite der Brücke die Sicht verhindern. Je größer der dargestellte Sichtwinkel ist, umso größer ist das Realitätsempfinden.

Der Bildwinkel bezeichnet die horizontalen und vertikalen Winkel, unter den das Bild gesehen wird. Wenn der Bildwinkel kleiner als der Sichtwinkel ist, erscheint das Bild komprimiert bzw. verkleinert. Wenn der Bildwinkel größer als der Sichtwinkel ist, erscheint das Bild vergrößert.

Die Bildgröße bezeichnet die absolute Größe des dargestellten Bildes und ergibt sich aus dem Projektionsabstand und dem Bildwinkel. Die absolute Bildgröße spielt eine untergeordnete Rolle. Sie ist proportional zum Projektionsabstand.

Allgemein kann festgestellt werden:

- Bei einem Sichtwinkel kleiner als 180° können Schiff querab nicht mehr gesehen werden.
- Bei Bild gebenden Geräten ist zu erwarten, dass der dargestellte Sichtwinkel dem des Geräts entspricht.
- Bei der Darstellung der Brückensicht sollten Sicht- und Bildwinkel sich möglichst entsprechen.
- Wenn der Bildausschnitt nicht die gesamten realen Sichtwinkel umfasst, kann er durch Bedienelemente verändert werden. Dies ist vielfach gegeben, weil auch in einfachsten Simulatoren eine Rundumsicht möglich sein soll.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es erfolgt nur eine stark vereinfachte Darstellung mit einem festen Sichtwinkel, Bildausschnitt nicht schaltbar.
- 2 Der Bildausschnitt umfasst nicht den vollen Sichtwinkel. Der Augpunkt und die Blickrichtung können mittels Bedienelementen eingestellt werden. Der Bildwinkel entspricht ungefähr dem Sichtwinkel und muss mit Umschaltmöglichkeiten eine Rundumsicht ermöglichen.
- 3 Der Bildausschnitt umfasst mindestens 210° . Der Bildwinkel entspricht dem Sichtwinkel.

Testverfahren

Der Bildwinkel ergibt sich aus dem Projektionsabstand und der Bildgröße. Hierbei ist zu beachten, dass die projizierte Bildgröße von der Leinwandgröße abweichen kann.

Der Sichtwinkel wird ermittelt, indem im Simulationsgebiet ein Messgitter modelliert wird, das im Bild dargestellt wird. Das Messgitter ist im einfachsten Fall das Gittermodell einer Kugel, in deren Mittelpunkt sich der Augpunkt des Probanden befindet. Das Gittermodell hat Gitternetzlinien im vorgegebenen Winkelabstand von z. B. 30° . Es ist dann zu prüfen, ob diese Gitternetzlinien in der Darstellung unter dem gleichen Winkelabstand erscheinen.

b. Auflösung und Bildrate

Das entscheidende Maß für die räumliche Auflösung ist der Bildwinkel, den ein Bildpunkt (Pixel) ausfüllt. Das menschliche Auge hat eine Auflösung von ca. $1'$. Für einen horizontalen Bildausschnitt von beispielsweise 30° genügt damit eine Darstellung 1800 Pixeln.

Die Bildrate gibt die Anzahl der Bilder an, die das System pro Zeiteinheit darstellt. Die Bildrate sollte so hoch sein, dass der Mensch keine Einzelbilder mehr erkennen kann. Computergenerierte Bilder werden immer im Vollbildverfahren, d. h. ohne Interlacing, dargestellt. Besonders bei schnellen Drehbewegungen – dies trifft z. B. auf Drehmanöver von Binnenschiffen zu – reagiert der Mensch sehr empfindlich auf eine zu niedrige Bildrate.

Eine Bildrate von 60 Hz ist anzustreben. Zum Vergleich: Kinofilme haben Bildraten von 24 Hz, die europäische Fernsehnorm PAL von 25 Hz und die Fernsehnorm NTSC von 30 Hz.

Auflösung und Bildrate sind im Wesentlichen beschränkt durch die Leistungsfähigkeit der Bild erzeugenden Hardware. Bei gleicher Hardware kann durch die Reduzierung der Auflösung eine höhere Bildrate erreicht werden und umgekehrt. Solange die navigatorisch wichtigen Details erkannt werden können, ist größerer Wert auf eine ausreichende Bildrate bei verringerter Auflösung zu legen. Dabei sollte die native Auflösung der Projektoren und Bildschirme allerdings stets eingehalten werden.

Die Bildrate ist nicht zwangsläufig konstant. In Situationen, in denen viele oder komplexe Objekte dargestellt werden und die eine hohe Rechenleistung erfordern, kann die Bildrate deutlich kleiner sein als in Situationen mit wenigen Objekten.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es erfolgt nur eine stark vereinfachte Darstellung.
- 2 Die Auflösung genügt zur Erkennung der navigatorisch wichtigen Details. Die Bildrate erlaubt die rechtzeitige Wahrnehmung der aktuellen Situation.
- 3 Die Bildauflösung erreicht die Auflösung des menschlichen Auges. Die Bildrate lässt kein Ruckeln erkennen.

Testverfahren

Die Auflösung kann den Spezifikationen der Bildschirme und Projektionsgeräte entnommen werden. Die aktuelle Bildrate muss per Software ermittelt werden. Dies ist leicht möglich, wenn die Bildrate vom Simulator selbst ermittelt und angezeigt werden kann.

Die Ermittlung der minimalen Bildrate erfolgt im Simulationsbetrieb in Simulationsgebieten mit höchster Detaillierungsstufe und maximalem Verkehrsaufkommen.

c. Detaillierung und Darstellungsqualität

Die Detaillierung wird vorrangig durch die Modellierung des Simulationsgebiets vorgegeben (siehe Abschnitt 3.4.2). Von allen Objekten werden die sichtbaren Außenflächen modelliert. Je genauer (detailreicher) ein Objekt dargestellt werden soll, umso mehr Teilflächen müssen für seine Modellierung verwendet werden. Der Betrachter kann getäuscht werden, indem statt der Modellierung von vielen Teilflächen größere Teilflächen mit einer Textur belegt werden, die einen äquivalenten optischen Eindruck hervorruft.

Neben der Darstellung der Objekte in der Szene können weitere Effekte den Realitätsgrad erhöhen wie z. B. Schattenwurf, Reflexionen, sekundäre Reflexionen oder Transparenzen.

Der Rechenaufwand steigt sowohl mit der Anzahl der darzustellenden Teilflächen als auch mit der Größe und Anzahl der verwendeten Texturen. Beim Bildaufbau können zur Erhöhung der Bildrate deshalb kleine, unwichtige Objekte vereinfacht dargestellt oder ganz weggelassen werden.

Für die Darstellungsqualität lässt sich kein quantitatives Maß angeben. Die minimale Anforderung besteht darin, dass alle navigatorisch wichtigen Objekte erkannt werden können. Der Wert der Simulation steigt mit der Realitätsnähe der Darstellung. Die beste Dar-

stellungsqualität ist erreicht, wenn alle Details des Sichtmodells aus der Datenbank dargestellt werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es erfolgt nur eine stark vereinfachte Darstellung.
- 2 Die Detaillierung genügt zur Erkennung der navigatorisch wichtigen Details in angemessener Entfernung.
- 3 Die Detaillierung wird für kein Objekt im Sichtsystem beschränkt. Eine evtl. Beschränkung der Detaillierung ist dann durch die Sichtdatenbank gegeben.

Testverfahren

Sowohl navigatorisch wichtige als auch unwichtige Details werden aus verschiedenen Entfernungen betrachtet. Dabei kann festgestellt werden, inwiefern sich die Darstellung verändert. Je näher man sich einem Objekt nähert, umso mehr Details können erkannt werden. Ab einer gewissen Entfernung nehmen die sichtbaren Details nicht mehr zu und die Detaillierung wird durch die Sichtdatenbank begrenzt.

d. Wasseroberfläche

Die Wasseroberfläche unterscheidet sich von allen anderen Oberflächen durch ihre Größe und ihre hohe Dynamik.

Aufgrund der großen Datenmenge bzw. Datenrate erfolgt die Berechnung der Wellenbewegung auf der Wasseroberfläche oft durch das Sichtsystem. Dann kommen vereinfachte mathematische Modelle zur Simulation der Wellenbewegung zum Einsatz. In fortgeschrittenen Simulatoren können die Wellen aber auch außerhalb der Sichtsystems berechnet werden.

Die Darstellung der Wellen ist jedoch unabhängig von der Berechnungsmethode. Die Kraftwirkung der Wellen auf die Schiffe wird in diesem Abschnitt nicht behandelt.

Die schiffserzeugten Wellen sind abhängig von der Schiffsform, der Schiffsgeschwindigkeit und der Wassertiefe. Das typische Schiffswellensystem besteht aus dem primären und sekundären Wellensystem sowie dem Kielwasser. Das primäre Wellensystem ist nur in begrenzten Gewässern wahrnehmbar. Das sekundäre Wellensystem besteht im Tiefwasser typischerweise aus den transversalen und diagonalen Wellen (Kelvinwinkel), die sich an der vorderen und hinteren Schulter ablösen. Im Wasser begrenzter Tiefe hat die Wassertiefe einen großen Einfluss auf das sekundäre Wellensystem. Bei unterkritischer Fahrt ist der Wellenwinkel abhängig von der Tiefen-Froude-Zahl. Bei kritischer Geschwindigkeit lösen sich Soliton Wellen vom Schiff und laufen vor dem Schiff nach vorne. Bei überkritischer Fahrt verschwinden die transversalen Wellen vollständig. Der erfahrene Schiffsführer kann anhand der Schiffswellen seine Geschwindigkeit recht genau abschätzen. Besonders die Diagonalwellen sind schwach gedämpft und laufen über weite Distanzen. Schließlich ist das Kielwasser die Spur des vom Propeller aufgewühlten Wassers.

Winderzeugte Wellen können mit einem geeigneten Seegangsspektrum approximiert werden. Im einfachsten Fall kommt ein eindimensionales Seegangsspektrum zum Einsatz. Angesichts der zur Verfügung stehenden Rechenleistung sollte aber immer ein

zweidimensionales Seegangsspektrum zum Einsatz kommen. Dies sollte auch für das konkret simulierte Gewässer gültig sein.

Auch muss der Vorgeschichtseinfluss berücksichtigt werden. Die bei wechselnden Windverhältnissen entstehenden Kreuzseen können navigatorisch wichtig sein. Lange Wellen sind die Folge vergangener Windverhältnisse, kurze Wellen und Gischt folgen der Windstärke und -richtung sehr direkt.

Vorstellbar ist es, die Ausbreitung der Wellen – auch unter Berücksichtigung der Bodentopographie – außerhalb des Sichtsystems zu berechnen.

Neben der Form der Wellen spielt auch deren Darstellung eine wichtige Rolle. So bilden sich ab Seegang 3 Schaumköpfe auf den Wellenkämmen, die ab Seegang 6 auch brechen. Farbe und Textur müssen im Zusammenspiel mit dem Himmel stimmen. Reflexionen von Sonne, Mond oder anderen künstlichen Lichtern sollten sichtbar sein.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es erfolgt nur eine stark vereinfachte Darstellung.
- 2 Schiffserzeugte Wellen sind abhängig von der Schiffsgeschwindigkeit. Die Wassertiefe wird berücksichtigt. Winderzeugte Wellen entsprechen einem realistischen Seegangsspektrum.
- 3 Schiffserzeugte Wellen sind abhängig von der Schiffsgeschwindigkeit und der Wassertiefe. Der Einfluss der Bodentopografie auf Entstehung und Ausbreitung ist realistisch. Dies gilt auch für die überkritische Fahrt im flachen Wasser. Winderzeugte Wellen entsprechen einem realistischen Seegangsspektrum. Kurze Wellen und Gischt lassen die Windrichtung erkennen. Die Simulation von Kreuzseen und extremen Seegängen ist möglich.

Eine vollständige Berücksichtigung aller Einflüsse auf die Wellenbildung und -ausbreitung (Abstufung 3) könnte die Qualität der Simulation deutlich verbessern. Für die Berechnung der Wellenbildung und Ausbreitung im Wasser begrenzter Tiefe stehen vereinfachte mathematische Beschreibungen zur Verfügung. Allerdings sind die Anforderungen an die Rechenleistung zur Berechnung in Echtzeit so hoch, dass dies z. Zt. von keinem Simulator geleistet werden kann. Bei gegebener Forschungs- und Entwicklungsleistung ist dies allerdings mittelfristig zu erwarten.

Testverfahren

Die schiffserzeugten Wellen werden sowohl am Eigenschiff als auch bei entgegenkommenden Fremdschiffen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Wassertiefen beurteilt. Bei der Beurteilung des eigenen Wellensystems muss auch die Ausbreitung der Wellen zum Ufer geprüft werden. Auch wird geprüft, ob das Kielwasser die Bahn des Schiffes nachzeichnet.

Die Höhe und Länge der winderzeugten Wellen kann mittels modellierter Testmarken geprüft werden. Damit lässt sich zumindest überprüfen, ob die signifikante Wellenhöhe zum angesetzten Seegangsspektrum passt.

Zur Überprüfung der kurzen Wellen und der Gischt wird während der Simulation die Windrichtung unabhängig von der Wellenaufrichtung geändert.

Farbe, Textur und Reflexionseigenschaften werden auf ihre Realitätsnähe überprüft.

e. Sonne, Mond, Himmelskörper

Sonne und Mond werden als Leuchtquelle dargestellt, deren Position sich durch die Tageszeit bestimmt. In gleicher Weise können auch alle anderen Himmelskörper entsprechend Ihrer realen Position am Himmel dargestellt werden. Bei der Berechnung der Himmelspositionen können Simulationsort, -datum und -uhrzeit berücksichtigt werden. Eine genaue Darstellung der Himmelskörper ist nur dann sinnvoll, wenn von der Brücke ein ausreichender Himmelsausschnitt zu sehen ist. Hier kann es nötig werden, dass die Projektion in eine Gewölbte Kuppel erfolgt.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es erfolgt nur eine stark vereinfachte Darstellung.
- 2 Sonne und Mond folgen einem 24-Stunden-Zyklus. Die Positionen sind nicht exakt dem Simulationsort und -datum zuzuordnen. Am Nachthimmel sind beliebige Sterne zu sehen.
- 3 Die Positionen von Sonne und Mond (einschl. Mondphasen) werden exakt für Simulationsort, -datum und -zeit berechnet. Der Nachthimmel oder mindestens die wichtigsten Sterne entsprechen der realen Sicht.

Testverfahren

Datum und Uhrzeit werden variiert. Die Darstellung von Sonne, Mond und Nachthimmel werden mit der Realität verglichen.

f. Wetter

Besonders bei der Fahrt auf See oder in Küstengewässern spielt das Wetter eine besondere Rolle. Aber auch in der Binnenschifffahrt können Nebel oder Niederschlag die Sicht erheblich stören und einen großen Einfluss auf die Navigation ausüben. Wolken, Niederschlag, Nebel, Dunst und Blitze können direkt dargestellt werden. Die Auswirkungen von Wind (wehende Fahnen, Rauchbahnen) können ebenfalls dargestellt werden.

Die Vorgabe des Wetters bzw. der Wetterentwicklung erfolgt durch den Instruktor. Die Darstellung erfolgt ohne aufwendige Simulation im Sichtsystem, da die Wetterentwicklung unabhängig von den Aktionen innerhalb der Simulation ist.

Hohe Wolkenschichten werden in der Regel als Hintergrundbild an den Himmel projiziert. Tiefer liegende, einzeln erkennbare Wolken müssen als einzelne Objekte modelliert werden und erfordern damit einen deutlich höheren Rechenaufwand. Einzeln erkennbare Wolken sind deutliche Indikatoren für die Windrichtung und -geschwindigkeit und die Wetterentwicklung. Sie unterstützen damit wesentlich eine realistische Simulation.

Die Darstellung von Nebel, Dunst und Blitzen ist heute Stand der Technik. Auch bereitet die Darstellung von Niederschlag (Regen, Hagel, Schnee) grundsätzlich keine Schwierigkeit. Allerdings befindet sich der Niederschlag im Raum zwischen dem Betrachter und der Bildfläche. Eine realistische Darstellung in diesem Bereich wäre nur mit einer stereoskopischen Darstellung möglich. Dies gilt insbesondere für Niederschlag der gegen die Scheiben des Brückenhauses fällt.

Selbst bei klarer Sicht kann das Sichtsystem berücksichtigen, dass entfernte Objekte immer blasser und bläulicher erscheinen als nahe liegende.

Windstärke und -richtung kann nicht direkt dargestellt werden. Die Wirkung des Windes auf Objekte kann dagegen dargestellt werden und erhöht die Realitätsnähe der Simulation in großem Maße, da erfahrene Schiffsführer den Wind anhand dieser Objekte abschätzen und entsprechende Maßnahmen treffen. Die Bewegung von Objekten in Abhängigkeit von der Windstärke und -richtung erfordert eine entsprechende Modellierung in der Sichtdatenbank. Es genügt hierbei, die Reaktionen von allen betroffenen Objekten (z. B. Fahnen, Wolken, Windkraftanlagen) für normale Windverhältnisse zu simulieren.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es erfolgt nur eine stark vereinfachte Darstellung.
- 2 Ruhende, hohe Wolkenschichten werden dargestellt. Ebenso können Niederschläge, Dunst und Nebel dargestellt werden.
- 3 Es können bewegte Wolkenformationen mit allen Niederschlagsformen und Gewittern dargestellt werden. Wolken bewegen sich in Windrichtung. Die Auswirkung von Wind auf Niederschlag und andere Objekte ist sichtbar.

Testverfahren

Es werden nacheinander alle verfügbaren Wolkenformationen und Niederschläge eingestellt. Dabei werden Windrichtung und -stärke variiert und die Auswirkung auf Wolken, Niederschlag und andere Objekte geprüft.

g. zusammengesetzte Darstellungen

Sobald ein großer Sichtwinkel dargestellt werden soll, genügt ein Projektor oder Monitor nicht, um das vollständig Bild darzustellen. Das Gesamtbild wird dann aus mehreren Teilbildern zusammengesetzt. Dabei sind einige Aspekte zu beachten. In direktem Blick nach vorne sollte sich keine Nahtstelle von Teilbildern befinden. Nahtstellen sind immer, wenn auch schwach, erkennbar und stören besonders in der Geradeaussicht. Das führt dazu, dass das Gesamtbild aus einer ungeraden Anzahl von Teilbildern zusammengesetzt wird, sofern keine 360°-Darstellung erfolgt. Bei Monitoren sind Modelle mit möglichst schmalen Rändern einzusetzen. Wenn Projektoren zum Einsatz kommen, müssen geeignete Blenden in den Nahtstellen verwendet werden. Besonders bei Projektoren kommt es häufig vor, dass die Farbkonsistenz innerhalb des Bildes nicht gegeben ist. Es ist dann nicht möglich, ein einheitlich wirkendes Gesamtbild zu erzielen. Die einzusetzenden Geräte sind vorher sorgfältig zu prüfen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es erfolgt nur eine stark vereinfachte Darstellung.
- 2 Übergänge zwischen den Teilbildern sind erkennbar, stören aber nicht in der Sicht direkt voraus.
- 3 Übergänge zwischen den Teilbildern sind kaum oder gar nicht erkennbar und werden in der laufenden Simulation nicht wahrgenommen.

Testverfahren

Es wird ein Übungsgebiet mit einer möglichst monotonen Farbgebung geladen. Es kann dann festgestellt werden, inwieweit die Übergänge zwischen den Teilbildern zu erkennen sind.

3.3.2 Audio-System

Das Ohr ist nach dem Auge das zweitwichtigste Sinnesorgan des Menschen. Während das Sehen größtenteils bewusst gesteuert wird, arbeitet das Gehör oft unbewusst und lässt sich auch nicht abschalten. Wenngleich für die Schiffsnavigation – abgesehen von der Kommunikation – das Sehen eine wesentlich größere Bedeutung als das Hören hat, ist es doch wichtig, um eine realistische Simulation zu vermitteln.

Es gibt eine Vielzahl von Geräuschen, die im Fahrstand wahrgenommen werden. Sie lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: Umgebungsgeräusche, die ständig im Hintergrund zu hören sind, und einzelne Schallsignale, die bewusst Aufmerksamkeit erregen. Kommunikationsmittel wie Telefon oder Sprechfunk werden in diesem Abschnitt nicht behandelt.

Die Umgebungsgeräusche (z. B. Betriebsgeräusche) werden in der Regel nicht bewusst wahrgenommen, sondern als Hintergrundgeräusch erwartet. Fehlende Betriebsgeräusche verursachen eine Irritation und verringern die Akzeptanz der Simulation genauso wie unpassende und unrealistische Hintergrundgeräusche. Zu den Betriebsgeräuschen zählt auch niederfrequenter Körperschall, meistens hervorgerufen durch die Hauptmaschine oder Propeller.

Einzelne Schallsignale werden gezielt ausgelöst und bewusst wahrgenommen. Sie können vom Schiffsführer selbst ausgelöst werden (z. B. Signalhorn) oder sind Folgen von Ereignissen in der Simulation (z. B. Kollisionsgeräusche).

In der Regel werden vorher aufgenommene Geräuschstücke (Samples) aus der Audio-Datenbank abgespielt. Welche Geräusche wiedergegeben werden, ist in den Datenbanken für die einzelnen Objekte definiert. So ist beispielsweise für jedes Schiff angegeben, welches Motorengeräusch abgespielt wird. Oder es kann in Übungsgebieten definiert sein, in welchem Gebiet Hafengeräusche zu hören sind. Die in der Audio-Datenbank gespeicherten Samples werden vom Simulator entsprechend dem Abstand und der Richtung zum Eigenschiff zusammengesetzt und transformiert, dass sie im Fahrstand realistisch klingen.

Werden bei der Wiedergabe einzelne Geräuschstücke zusammengesetzt, dürfen keine Übergänge zu hören sein. Dies gilt insbesondere bei der Wiedergabe periodischer Geräusche (z. B. Motorengeräusch). Hier ist das Sample oft genauso lang wie eine Periode. Auch bei periodischen Geräuschen nimmt der Hörsinn unterbewusst Variationen wahr. Es wirkt dann realistischer, wenn nicht zyklisch dasselbe Sample abgespielt wird.

Bei der Wiedergabe können Qualitätseinbußen durch Komponenten von schlechter Qualität (z. B. Soundkarten, Verstärker, Lautsprecher) oder durch Konfigurationsfehler (z. B. Brummschleifen, Übersteuerungen) auftreten. Schließlich muss auch die Raumakustik (z. B. Hall, Reflexionen, Abschattungen, Anordnung der Lautsprecher) berücksichtigt werden.

Das Audio-System kann auch die Möglichkeit bieten, die Geräusche von der Brücke – einschließlich der Gespräche der Brückenbesatzung – in andere Räume zu übertragen

(z. B. Mithören des Instructors). Diese Geräusche können dann auch aufgezeichnet werden, um sie später zusammen mit der Simulation wiedergeben und analysieren zu können.

Leistungsmerkmale

- a. Umgebungsgeräusche
- b. Einzelne Schallquellen
- c. Akustische Signale von Brückengeräten
- d. Mithören
- e. Aufzeichnung

a. Umgebungsgeräusche

Umgebungsgeräusche, die auf der Brücke zu hören sind, kommen aus ganz verschiedenen Quellen wie z. B.:

- Betriebsgeräusche von bordeigenen Maschinen (Motor, Pumpen, Generatoren usw.) und Anlagen.
- Niederfrequenter Körperschall (z. B. von der Hauptmaschine oder dem Propeller)
- Wind und winderregte Geräusche
- Regen, Hagel, Donner (Gewitter)
- Wellengeräusche
- Verkehrs- und Arbeitsgeräusche am Ufer oder auf Brücken

Alle diese Geräusche haben eine relativ geringe Lautstärke und bleiben im Hintergrund. Wenn diese die konzentrierte Aufmerksamkeit auf sich ziehen, wirken sie oft unnatürlich. Sie werden in ihrer Beiläufigkeit vom Schiffsführer allerdings erwartet und verstärken deutlich den Realitätsgrad der Simulation. Dabei müssen die Geräusche stets zu der dargestellten Situation passen.

Das wohl wichtigste Umgebungsgeräusch ist das Motorengeräusch. Das Motorengeräusch muss zu dem im jeweiligen Schiffstyp eingebauten Motor (Zylinderzahl, Drehrate) bzw. der Antriebsanlage (z. B. diesel-elektrisch) passen. Das Motorengeräusch (Lautstärke und Frequenz) verändert sich mit der Motordrehrate. Dies gilt für alle Aggregate einzeln, die getrennt gesteuert werden.

Zu den Motorengeräuschen gehören auch niederfrequente Schwingungen der Brücke (Körperschall), die meistens durch starke Basslautsprecher (Subwoofer) erzeugt werden können. Ebenso kann ein kavitierender Propeller oder ein kavitierendes Ruder deutliche Vibrationen erzeugen, die dann vom Schiffsführer auch bewusst wahrgenommen werden. Gerade bei Kavitationsgeräuschen ist es besonders wichtig, dass sie genau zur Simulationssituation (Propeller-/Ruderbelastung) passen.

Die Wettergeräusche müssen zum Simulationswetter passen. Die Wahrnehmungen von Augen und Ohren müssen übereinstimmend sein. Wenn starker Wind spürbare und für die Navigation wirksame Kräfte erzeugt, müssen entsprechende Windgeräusche zu hören

sein. Bei Starkwind oder Sturm können auch winderzeugte Geräusche (z. B. klappernde Gegenstände, schlagende Bleche und Fahnen) hinzukommen. Wenn in der Simulation Gewitter herrscht und Blitze zu sehen sind, müssen entsprechende Donnergeräusche zu hören sein. Auch muss evtl. Regen oder Hagel, der auf das Brückendach oder gegen die Scheiben schlägt zu hören sein. Dies kann so weit gehen, dass durch eine Mehrkanalwiedergabe die Richtung des Niederschlags erkennbar wird. Ebenso muss beim Donner die akustische Darstellung zum Ort des Gewitters passen (Laufzeit, Lautstärke, Richtung).

Wellengeräusche sind in der Regel leise. Sie werden im geschlossenen Brückenhaus kaum wahrgenommen. Nur bei extremem Seegang und brechenden Wellen und Brandung am Ufer sind die Geräusche wahrzunehmen.

Verkehrs- und Arbeitsgeräusche aus der nahen und weiteren Umgebung, können die Realitätstreue noch verbessern. Typische Geräuschquellen sind: Straßen- und Schienenverkehr, Maschinengeräusche in Gewerbegebieten/Häfen. Es ist hierbei aber darauf zu achten, dass Sehen und Hören zueinander passen und dass die Lautstärke realistisch ist.

Die Umgebungsgeräusche überdecken auch die schiffsfremden Betriebsgeräusche im Simulatorraum (z. B. Lüfter von Beamern und PCs).

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es erfolgt nur eine stark vereinfachte Wiedergabe von Umgebungsgeräuschen.
- 2 Das Motorengeräusch wird realistisch wiedergegeben. Wenn weitere Umgebungsgeräusche wiedergegeben werden, sind diese realistisch und zur Simulationssituation passend.
- 3 Motoren- und Wettergeräusche werden realistisch wiedergegeben. Wenn weitere Umgebungsgeräusche wiedergegeben werden, sind diese realistisch und zur Simulationssituation passend.

Testverfahren

Das Motorengeräusch wird getestet, indem bei ruhigem Wetter und ruhiger See, für alle Motordrehraten das Geräusch beurteilt wird. Es kann direkt ermittelt werden, ob es zu hören ist und ob Lautstärke und Klang angemessen sind.

Zum Testen der Wettergeräusche werden alle im System verfügbaren Wettermodelle bei ausgeschaltetem Motor nacheinander durchgespielt. Es kann dann im Einzelnen beurteilt werden, inwieweit Wind, Regen, Hagel, Donner usw. akustisch richtig dargestellt werden.

Zum Testen der weiteren Verkehrs- und Arbeitsgeräusche werden die vom Hersteller hierfür ausgezeichneten Abschnitte bei ruhigem Wetter und geringer Geschwindigkeit befahren. Es gilt hier zu beurteilen, inwieweit die Geräusche als realistisch oder künstlich wahrgenommen werden.

Oft kann die Lautstärke der verschiedenen Geräusche individuell gesteuert werden. Es ist zu prüfen, inwieweit das im jeweiligen Simulator möglich ist und welches die beste Einstellung ist.

b. Einzelne Schallquellen

Einzelne Schallquellen ziehen die Aufmerksamkeit der Brückenbesatzung auf sich. Sie lassen sich akustisch orten. Wichtige einzelne Schallquellen sind das Signalhorn, Sirenen und Kollisionsgeräusche. Hinzu kommen noch Geräusche von Bojen, Baken oder anderen Navigationshilfen.

Zu den einzelnen Schallquellen gehören auch Geräusche von Bordaggregaten, die nicht kontinuierlich laufen (z. B. Ankergeschirr). Diese lassen sich in der Regel nicht orten. Im Gegensatz zu anderen Umgebungsgeräuschen werden sie aber bewusst wahrgenommen, weil sie eine direkte Reaktion auf eine Handlung darstellen.

Alle navigatorisch bedeutsamen akustischen Signale sollten sich wiedergeben lassen. Dies gilt für das Eigenschiff, für Fremdschiffe und für Signale von Land oder Bojen usw. Zudem sollten sie sich akustisch orten lassen. Das erfordert mindestens eine Stereowiedergabe mit kanalgetreuer Phasenlage oder eine Multikanalwiedergabe im Simulationsraum. Die akustische Position der Schallquelle muss mit der optischen übereinstimmen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es erfolgt nur eine stark vereinfachte Wiedergabe von einzelnen Schallsignalen.
- 2 Einzelne Schallsignale werden realistisch wiedergegeben, lassen sich aber nicht akustisch orten.
- 3 Alle einzelnen Schallsignale werden realistisch wiedergegeben. Nautisch relevante Schallsignale können richtungs- und entfernungsabhängig realitätsnah wahrgenommen werden.

Testverfahren

Im ersten Schritt werden auf der Brücke des Eigenschiffs im Stand alle verfügbaren Schallsignale nacheinander ausgelöst. Es wird dabei geprüft, ob die Schallsignale in Klang und Lautstärke realistisch sein. Im zweiten Schritt werden die gleichen Schallsignale auf einem Fremdschiff ausgelöst. Dabei wird der Abstand des Fremdschiffs variiert. Es gilt hier zu prüfen, ob das richtige Signal zu hören ist, ob die akustische Richtung stimmt und ob die Lautstärke der Entfernung des Signals angemessen ist.

Alle im Fahrstand bedienbaren Bordaggregate (z. B. Anker) werden einzeln geschaltet. Es wird geprüft, ob sich der Betriebszustand akustisch wahrnehmen lässt.

c. Akustische Signale von Brückengeräten

Die meisten Brückengeräte geben auch akustische Signale ab. Sofern Echtgeräte im Simulator verwendet werden, erfolgt auch die Ausgabe der akustischen Signale durch diese Geräte. Diese sind dann nicht weiter zu prüfen, weil sie bereits die größte Realitätstreue bieten.

Werden Brückengeräte durch generische Geräte ersetzt, d. h. durch Computermonitore simuliert, dann muss diese Simulation auch alle akustischen Signale einschließen. Das Gerät erscheint dabei nur dann realistisch, wenn die Signale vom Gerät selbst abgestrahlt werden und nicht aus den normalen Simulationslautsprechern kommen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Akustische Signale von Brückengeräten werden nur unrealistisch wiedergeben.
- 2 Die akustischen Signale von Brückengeräten klingen realistisch, werden aber über die normalen Simulationslautsprecher wiedergeben.
- 3 Die akustischen Signale von Brückengeräten klingen realistisch und werden vom generischen Gerät selbst wiedergeben.

Testverfahren

Nacheinander werden alle akustischen Signale von den verfügbaren Brückengeräten ausgelöst. Dabei wird geprüft, ob die Signale vom Gerät oder von den Umgebungslautsprechern erzeugt werden und wie realistisch sie klingen.

d. Mithören

Für den Instruktor ist es sehr nützlich, wenn alle Geräusche, die im Steuerhaus zu hören sind, auch zu seiner Konsole übertragen werden, damit er die gleiche Situation erlebt wie der Proband und dessen Verhalten korrekt bewerten kann. Dies schließt auch die verbalen Äußerungen der Simulationsteilnehmer ein.

Das Mithören wird in der Regel durch eine direkte Aufnahme aller Geräusche im Steuerhaus mittels Mikrofon ermöglicht. Hierbei genügt eine einkanalige Aufnahme. Besonders wichtig sind eine gute Sprachverständlichkeit der Simulationsteilnehmer und eine gute Erkennbarkeit von Einzelsignalen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Der Instruktor kann nur die vom Simulator generierten Geräusche hören.
- 2 Der Instruktor hörte alle Geräusche von der Brücke.
- 3 Die Mithörlautstärke der einzelnen Brückengeräusche (Umgebungsgeräusche, akustische Signale, Sprache usw.) lässt sich individuell einstellen.

Testverfahren

Im Rahmen einer Simulationsübung wird geprüft, ob die Brückengeräusche klar und verständlich übertragen werden und ob die Lautstärke an die Erfordernisse des Instruktorarbeitsplatzes angepasst werden kann.

e. Aufzeichnung

Dieselben Brückengeräusche, die der Instruktor mithören kann, sollten sich auch aufzeichnen lassen, damit das Verhalten der Simulationsteilnehmer besser analysiert werden kann. Zusätzlich zu den Geräuschen am Fahrstand kann es sinnvoll sein, die Funk- und Telefongespräche aufzuzeichnen. Hierbei ist zu beachten, dass nur Telefongespräche aus der Simulation aufgezeichnet werden dürfen. Sofern das Telefon am Fahrstand auch für externe Gespräche genutzt werden kann, muss die Aufzeichnung unterbunden werden. Es ist wichtig, dass diese Aufzeichnung synchron mit der gesamten Simulation erfolgt.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Brückengeräusche werden unabhängig von der Simulation aufgezeichnet.
- 2 Die Brückengeräusche werden synchron mit der Simulation aufgezeichnet.
- 3 Die Brückengeräusche und Funk- und Telefongespräche können selektiv und synchron mit der Simulation aufgezeichnet werden.

Testverfahren

Eine Übung wird aufgezeichnet. Dabei werden zu genau festgelegten Zeitpunkten definierte Schallsignale ausgelöst und Gespräche geführt. Es ist zu prüfen, ob bei der Wiedergabe diese zum selben Simulationszeitpunkt zu hören sind.

3.3.3 Radarsimulation

Für Binnenschiffe gilt weder eine generelle „Radar-Ausrüstungspflicht“ noch ist Radarkenntnis eine notwendige Voraussetzung für die formale Qualifikation als Schiffsführer. Dennoch gehört Radar heute praktisch zum Ausrüstungsstandard von Binnenschiffen und hat eine zentrale Bedeutung, denn Schiffe dürfen bei unsichtigem Wetter nur dann fahren, wenn sie mit einem zugelassenen Radargerät ausgerüstet sind und sich mindestens ein Besatzungsmitglied mit Radarpatent an Bord befindet (Rheinschiffs-Polizeiverordnung RheinSchPV). Zugelassene Radargeräte müssen u.a. der Norm ETSI EN 302 194-1¹⁴ entsprechen.

Neben der so genannten Radarsicht bieten moderne Radargeräte die Möglichkeit, die Position des Schiffes in elektronischen Navigationskarten (Inland Electronical Navigational Charts – IENC) in Verbindung mit GPS anzuzeigen. Ferner können mit diesen Geräten auch die Anzeige von AIS (Automatic Identification System) generiert sowie andere Informationen aufbereitet und dargestellt werden. Der Umgang mit Radar sowie den hier genannten Navigationssystemen ist wegen seiner Komplexität, der Wichtigkeit sowie der Risiken, die von einer nicht sachkundigen Nutzung ausgehen, in einem hohen Maße ausbildungs- und trainingsrelevant.

Die Radartechnik basiert auf der Laufzeitmessung elektromagnetischer Strahlen (Mikrowellen), welche von einer sich um eine vertikale Achse drehenden Antenne (Scanner) stark gebündelt ausgestrahlt werden. Die Bündelung der Abstrahlung erfolgt in Form einer so genannten „Radarkeule“ und ist u.a. bedingt durch die Form des Scanners. Treffen die Mikrowellen auf Objekte, dann kommt es dort zu einer Reflektion der Strahlen. Im „Sichtfeld“ des Radars werden die an Objekten reflektierten Strahlen am Scanner empfangen und als Leuchtpunkte auf dem Radarbildschirm dargestellt. In Abhängigkeit von der Entfernung und der Reflektionsfläche (Material, Neigung, Oberflächenstruktur) werden Objekte als kleine oder große sowie als schwach oder intensiv leuchtende Echos durch Leuchtpunkte angezeigt.

Die Trennschärfe (Auflösung), d.h. die Darstellung von nahe beieinander liegenden Objekten als getrennte Echos, ist dabei u.a. abhängig von der Form der Radarkeule (Öffnungswinkel der Abstrahlung) und der Länge der Mikrowellen (z. B. im 3 cm oder 10 cm

¹⁴ www.etsi.org

Bereich). Hinzu kommt, dass die Auswertung von Radarbildern an Bord von Schiffen durch so genannte Störechos erschwert wird. Diese Echos entstehen situationsabhängig (eingestellter Bereich, Witterungsverhältnisse, Fremdsignale, besonders stark reflektierende Objekte etc.) und müssen bei der Interpretation der Radarbilder berücksichtigt werden.

Bei so genannten „Flussradargeräten“, wie sie in der Binnenschifffahrt zum Einsatz kommen, ist die Darstellung des Radarbildes als „head-up / relative motion“ vorgeschrieben. Bei dieser Darstellung ist die Vorausrichtung des Schiffs immer zentriert und auf die obere Mitte des Bildschirms ausgerichtet. Beim fahrenden Schiff bewegt sich nicht das Schiff selbst, sondern das Umfeld über den Bildschirm.

Bei der Radarsimulation stellen sich damit folgende Aufgaben: Da im Rahmen der Simulation keine elektromagnetischen Wellen ausgesendet und empfangen werden, müssen sowohl die Entfernung und Richtung der Objekte vom Schiff bzw. von der angenommenen Antennenposition aus als auch die Intensität und Größe des Echos berechnet und als einkommende Signale für das Radargerät aufbereitet werden. Um diese Berechnungen durchführen zu können, werden zum einen Informationen benötigt, die sich auf die aktuelle Position der beweglichen Objekte, insbesondere des Eigenschiffs, beziehen – diese Informationen werden per Abfrage vom Simulationskern zur Verfügung gestellt; zum anderen wird auf verschiedene Datenbanken und ggfs. andere Komponenten zurückgegriffen, um Informationen zum Umfeld und den dort befindlichen Objekten wie auch zum Eigenschiff zu erhalten.

Eine besondere Herausforderung besteht dabei in der Erfassung der Rückstrahlfähigkeit der Objekte, die von deren Rückstrahlfläche (Form und Größe sowie Material und Struktur der Oberfläche) abhängt. Dies zu erfassen setzt voraus, dass die in den Datenbanken hinterlegten Informationen nicht nur zur Darstellung der optischen Sicht geeignet sind, sondern auch den Anforderungen der Radarsimulation Rechnung tragen.

Folgende Leistungsmerkmale bieten sich an, um die Leistungsfähigkeit von Radarsimulatoren zu überprüfen:

Leistungsmerkmale

- a. Winkeltreue
- b. Auflösung
- c. Abschattungen
- d. Störechos
- e. Falschechos

Die Leistungsmerkmale gelten dem Prinzip nach in gleicher Weise für Schiffsführungssimulatoren wie auch für reine Radarsimulatoren.

a. Winkeltreue

Die Winkeltreue „horizontal“ der Radaranzeige ist dann gegeben, wenn

- sich die angezeigte Vorauslinie parallel zur Längsachse des Schiffes befindet und sich die Anzeige auf die Position der Antenne auf dem Schiff bezieht

- Radarpeilungen zu einzelnen Objekten mit den optischen Peilungen vom Standort der Antenne übereinstimmen.

Die Winkeltreue „vertikal“ der Radaranzeige ist dann gegeben, wenn z. B. bei der Anfahrt einer Brücke diese in Abhängigkeit von der Position der Radarantenne und des vertikalen Abstrahlwinkels der Radarstrahlen ab einem gewissen Abstand nicht mehr angezeigt wird und erst nach der Durchfahrt wieder auf dem Radarbild erscheint.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Winkelgenauigkeit bei horizontaler Peilung beträgt zwischen 2 und 4 Grad.
- 2 Die Winkelgenauigkeit bei horizontaler Peilung ist besser als 2 Grad. Effekte wegen des vertikal begrenzten Öffnungswinkels sind, z. B. bei Brückendurchfahrten, feststellbar.
- 3 Zusätzlich zu den unter Ziffer 1 genannten Anforderungen entsprechen die Effekte wegen des vertikal begrenzten Öffnungswinkels den gegebenen Randbedingungen (Winkelwerte, Abstände usw.), dynamische Positionsveränderungen des Schiffes, z. B. Trimmlage, werden berücksichtigt.

Testverfahren

Winkeltreue „horizontal“

Vergleich von optischer und Radarpeilung von Objekten, die sich in mindestens 400 m Entfernung befinden.

Winkeltreue „vertikal“

Simulation einer Brückendurchfahrt unter Berücksichtigung

- der Höhe der Antenne über der Wasseroberfläche bei aktuellem Tiefgang,
- des Abstrahlwinkels gemäß Radarkeule und Trimmlage des Schiffes
- der Höhe der Brückenunterkante über der Wasseroberfläche

Weitere Hinweise zu möglichen Tests ergeben sich aus der Norm ETSI EN 302 194-1.

b. Auflösung

Als radiale Auflösung wird der Abstand zwischen den Objekten bezeichnet, ab dem zwei Objekte bei gleicher Peilung der Radarantenne getrennt angezeigt werden.

Die azimutale Auflösung hängt u.a. ab von dem horizontalen Öffnungswinkel der Radarkeule und kennzeichnet den Winkelabstand, ab dem zwei Objekte im gleichen Abstand zur Radarantenne getrennt - und nicht als verschmolzenes Echo - angezeigt werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Auflösung „radial“ als auch „azimutal“ sind grob realisiert.
- 2 Zusätzlich zu den unter Ziffer 1 genannten Anforderungen ändert sich die Auflösung entfernungskonform.
- 3 Die Auflösung „radial“ als auch „azimutal“ entspricht der realen Darstellung vergleichbar mit zugelassenen Geräten.

Testverfahren

Zur Überprüfung der Auflösung können in der Simulation mobile Zielobjekte verschoben werden.

Weitere Hinweise zu möglichen Tests ergeben sich aus der Norm ETSI EN 302 194-1.

c. Abschattungen

Die Höhe der Radarantenne ist ausschlaggebend für die „Sichtweite“ des Radars sowie für die Abschattungen durch Objekte. Die Position der Radarantenne auf dem Schiff bestimmt auch das Ausmaß vertikaler Sichtschatten und horizontaler Abschattungen (tote Winkel), die durch Aufbauten und / oder Ladung (z. B. Container) des Schiffes entstehen. Dynamische Bewegungen des Schiffes, z. B. Trimm oder Krängung, verändern die Abschattungen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Abschattungen bei nautisch relevanten Objekten sind tendenziell richtig wiedergegeben.
- 2 Abschattungen entsprechen den trigonometrischen Verhältnissen, berücksichtigen jedoch keine dynamischen Änderungen der Schwimmlage des Schiffes.
- 3 Zusätzlich zu den unter Ziffer 2 genannten Anforderungen werden dynamische Bewegungen des Schiffes berücksichtigt.

Testverfahren

Die Realitätsnähe der Sichtschatten auf dem Radarbildschirm kann mittels simulierter Konstellationen, wie in Abb. 3.1 exemplarisch veranschaulicht, einfach überprüft werden, indem Objekte (z. B. Schiffe und Bojen) zunächst stillliegend in einem Simulationsszenario positioniert und dann so verschoben werden, bis die Echos in einen Sichtschatten fallen bzw. aus ihm heraustreten. Dabei bewirkt z. B. ein achterlicher Trimm eines Schiffes eine Vergrößerung des Sichtschattens vor dem Schiff. Abstände und Azimut können auf dem Radarbildschirm abgelesen und zeichnerisch/trigonometrisch überprüft werden.

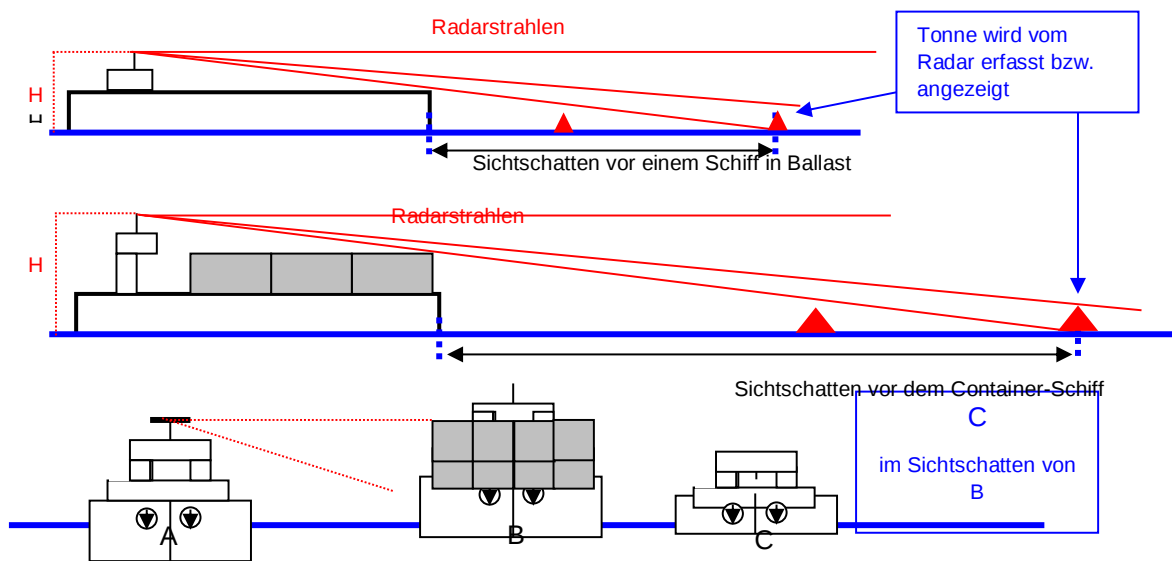


Abb. 3.1 Tests zur vertikalen Abschattung

d. Störechos

Echos von Wellen oder Niederschlag können die Identifikation von nautisch relevanten Objekten erschweren oder verhindern.

Von Wellen verursachte Echos (Seegangsreflexe) sind in erster Linie abhängig von der Ausprägung der Wasseroberfläche und werden als Leuchtpunkte auf dem Radarbild dargestellt. Im Zentrum des Bildes ist die Verdichtung dieser Leuchtpunkte hoch und nimmt radial ab. Die Verdichtung kann so hoch sein, dass Echos anderer Objekte, z. B. von Tonnen oder auch von Schiffen, nicht erkennbar sind. Radargeräte verfügen über einstellbare elektronische Filter (Seaclutter), mit denen diese Seegangsreflexe graduell unterdrückt werden können. Bei angemessener Dosierung des Filters können nautisch relevante Objekte so leichter erkannt werden.

Von Niederschlag verursachte Echos sind in erster Linie abhängig von der Dichte des Niederschlags und der Größe der Niederschlagspartikel (z. B. der Regentropfen). Hierdurch können Radarechos in so hoher Dichte und Leuchtintensität verursacht werden, dass nautisch relevante Objekte auf dem Radarbild nicht mehr erkennbar sind. Radargeräte verfügen über einstellbare elektronische Filter (Rainclutter), mit denen Echos von Niederschlag graduell unterdrückt werden können. Bei angemessener Dosierung des Filters können nautisch relevante Objekte so leichter erkannt werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Eine Schaltung der Filter ist möglich, die Wirkung ist erkennbar.
- 2 Eine Dosierung der Filter ist möglich, die Wirkung ist erkennbar und tendenziell richtig.
- 3 Die Dosierung der Filter und deren Wirkung entspricht den Verhältnissen zugelassener Geräte

Testverfahren

Eine Prüfung erfolgt durch Einschaltung und Dosierung der Filter.

Weitere Hinweise zu möglichen Tests ergeben sich aus der Norm ETSI EN 302 194-1.

e. Falschechos

Neben durch Niederschlag und Wellen bedingten Störechos gibt es weitere störende Echos, die auch als Falschechos bezeichnet werden. Dazu gehören Mehrfachechos sowie Fremd- oder Geisterechos.

Die Ursache für Mehrfachechos ist in der Regel ein geringer Abstand in Verbindung mit einer reflektionsintensiven Oberflächenstruktur bzw. einer reflektionsstarken Lage der Rückstrahlfläche eines identifizierten Objektes. Mit zunehmender Entfernung zur Rückstrahlfläche nehmen die Mehrfachechos ab bzw. verschwinden ganz.

Fremdechos von anderen nicht identifizierbaren Radarquellen oder Rückstrahlflächen treten dagegen nur sporadisch und nur für kurze Dauer auf.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Falschechos werden nach einem Zufallsprinzip generiert.
- 2 Die Häufigkeit der Mehrfachechos verändert sich entfernungsabhängig tendenziell richtig.
- 3 Zusätzlich zu den unter Ziffer 2 genannten Anforderungen kann an ausgesuchten Objekten bzw. Objekttypen (z. B. an Schiffen oder Brücken) die Rückstrahleigenschaft verändert werden. Ferner kann die Häufigkeit der Geisterechos dosiert werden.

Testverfahren

Da nicht nur Geisterechos, sondern auch Mehrfachechos unständig auftreten, bietet sich kein Testverfahren für Falschechos an. Die Erzeugung von Falschechos sollte jedoch vom Hersteller dokumentiert sein.

3.4 Datenbanken

Wie bereits erläutert, sind in den Datenbanken Informationen abgelegt, auf die im Laufe der Simulation zugegriffen wird. Die Verarbeitung dieser Daten erfolgt dynamisch, die Datenbanken selbst sind statisch. Daten sind die Basis jeder Simulation. Wichtig sind der Detaillierungsgrad und die Informationsdichte. Der benötigte Umfang der Datenbanken ist hingegen von der Anwendung abhängig.

Ohne Rückgriff auf Datenbanken sind schnell ablaufende Simulationsprozesse nicht vorstellbar. Datenbanken bedürfen ggf. der Pflege bzw. der Aktualisierung. Als Beispiel sei an dieser Stelle die Aktualisierung einer elektronischen Wasserstraßenkarte (ENC) genannt: Wird auf einer realen Strecke an einer Stelle z. B. ein Verkehrszeichen erstmals installiert oder definitiv entfernt, dann müsste bei hohem Realitätsanspruch die ENC eines

Simulators entsprechend korrigiert werden. Anstatt solcher Einzelkorrekturen mag es ausreichend sein, in Abständen aktuelle Versionen zu installieren.

Datenbanken sind in Verbindung mit den jeweiligen Simulationsprozessen bzw. Komponenten zu sehen, die in den Abschnitten 3.2 und 3.3 erläutert worden sind.

Während die grundsätzliche Funktionalität des Simulators durch seine Software bestimmt ist, können die Datenbanken theoretisch beliebig erweitert werden; dies wird in Abschnitt 3.5.5 behandelt. Je nach Ausführung des Simulators können die Datenbanken eigenständig, vom Hersteller oder von Dritten erweitert und verändert werden. Dafür müssen passende Softwarewerkzeuge vorhanden sein. Auch diese können vom Simulatorhersteller geliefert werden oder es werden Konvertierungsprogramme bereitgestellt, die den Datenaustausch mit Programmen von Dritten ermöglichen.

3.4.1 Datenbanken für fahrdynamische Berechnungen

Zwei Datenbanken sind für die Simulation, die im Simulationskern stattfindet, unabdingbar. Sie beschreiben die Fahrdynamik der Schiffe und die Eigenschaften der befahrenen Gewässer. In welcher Form und in welchem Umfang die Daten vorliegen müssen, hängt sehr stark von der verwendeten Modellbildung und von den Genauigkeitsanforderungen ab.

3.4.1.1 Schiffsdatenbank

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Fahrdynamik, d. h. die auf das Schiff wirkenden Kräfte, mathematisch zu modellieren.

Bei dem weit verbreiteten Koeffizientenmodell werden die Kräfte als algebraische Funktionen der Zustandsgrößen und deren Ableitungen beschrieben. Diese Funktionen enthalten schiffsspezifische Koeffizienten. Während die Zustandsgrößen im Laufe der Simulation ständig berechnet werden, sind die Koeffizienten konstant. Diese Koeffizienten werden in der Datenbank gespeichert. Für den Benutzer kann es von Bedeutung sein, die Möglichkeit zu haben, diese Koeffizienten zu verändern bzw. neue Koeffizientensätze für neue Schiffe einzutragen. Übliche Koeffizientenmodelle beschreiben einzelne Kraftkomponenten (Rumpf-, Propeller-, Ruderkräfte usw.) durch separate Funktionen, so dass sich hier Koeffizienten für einzelne Effekte gezielt verändern lassen.

Die Koeffizienten können aus Modell- oder Großausführungsversuchen oder aus CFD-Berechnungen ermittelt werden. Weiterhin gibt es Abschätzungsverfahren, mit denen für gewöhnliche Schiffe aus wenigen, grundlegenden Daten Koeffizientensätze berechnet werden können.

Jedes Schiff wird für jeden Beladungs- und Ausrüstungszustand durch einen eigenen Koeffizientensatz beschrieben. Der Ausfall bestimmter krafterzeugender Komponenten kann, bei entsprechender Funktionalität des Systems, während der Simulation simuliert werden. Hierfür sind keine gesonderten Koeffizienten zu definieren.

Ein anderes Kraftmodell arbeitet beispielsweise mit einer großen Datenbasis, in der der funktionale Zusammenhang zwischen Zustandsgrößen und Kräften durch diskrete Stützstellen definiert ist. Die momentanen Kraftgrößen werden dann durch Interpolation in dieser diskreten Datenmenge ermittelt. Diese Datenmenge wird für jedes Schiff durch Mo-

dellversuche und/oder CFD-Berechnungen erzeugt. Sie lassen sich durch den Anwender in der Regel nicht verändern oder erweitern.

Aufgrund der sehr spezifischen Ausgestaltung der Datenbank können hier keine allgemeingültigen Bewertungskriterien definiert werden. Entscheidend für eine gute Qualität der Simulation ist nur, dass die Simulatorsoftware im Zusammenspiel mit den Daten aus den Datenbanken eine möglichst realitätsnahe Simulation erzeugt. Umgekehrt gilt, dass eine unzureichende Qualität der Simulation, bei der das Bewegungsverhalten zu stark von der Realität abweicht, seine Ursache sowohl in mangelhaften fahrdynamischen Daten als auch in einem grundsätzlichen Mangel in der mathematischen Modellierung haben kann.

Wie bereits in Abschnitt 3.2 dargestellt wurde, können hinsichtlich der Fahrdynamik das Simulationsmodell und die Daten der Schiffsdatenbank nur gemeinsam bewertet werden, wenn – wie hier vorausgesetzt – auf eine detaillierte Analyse des Simulationsmodells verzichtet wird bzw. verzichtet werden muss. Deshalb werden für die Schiffsdatenbank alleine hier keine weiteren Bewertungskriterien aufgeführt.

3.4.1.2 Gewässerdatenbank

Die Beschreibung des Gewässers kann je nach Ausführung des Simulators sehr unterschiedlich ausfallen. Im einfachsten Fall wird das Gewässer durch eine konstante Wassertiefe (oder unendlich tiefes Wasser) und eine evtl. Uferberandung definiert. Es kann aber auch die detaillierte Bodentopographie beschrieben werden. Weiterhin können stationäre oder instationäre Strömungsfelder und Wasserstandsänderungen durch Gezeitenwellen definiert werden. Gerade bei Simulationen in Gewässern mit begrenzter Tiefe sind diese Informationen wichtig für eine realistische Simulation.

Die Datenbasis eines Gewässers kann zusätzlich auch Informationen über Wind- und Wetterbedingungen enthalten, die über Wasser herrschen und Einfluss auf die Simulation haben.

Wie diese Randbedingungen die Fahrdynamik beeinflussen, wurde in Abschnitt 3.2.1 behandelt. An dieser Stelle geht es um die Qualität der Randbedingungen und ihre Bereitstellung.

Leistungsmerkmale

- a. Wassertiefe
- b. Strömung
- c. Gezeiten
- d. Wind

a. Wassertiefe

Der Flachwassereinfluss verändert durch die geänderte Umströmung des Schiffes das Bewegungsverhalten. Generell wird durch die mit abnehmender Wassertiefe verstärkte Versperrung eine Behinderung der drei Hauptbewegungsarten Voraussahrt, Querdrift und Drehung bewirkt. Um diesen Einfluss berücksichtigen zu können, muss der Simulator die lokale Wassertiefe am Ort des Schiffes bereitstellen.

Die gebräuchlichste Art der Ortsinformation in der Nautik ist eine Karte. Für die Anwendung in einem Simulator handelt es sich um eine elektronische Karte – andere denkbare Alternativen werden hier nicht betrachtet, da sie nicht standardisiert sind.

Für die elektronische Karte (ENC) existiert ein weltweit anerkannter Standard, der sowohl in der Seeschifffahrt als auch in der Binnenschifffahrt verwendet wird. Der Kartenstandard für das Binnenland wird als IENC bezeichnet und ergänzt den für die Seeschifffahrt um einige spezielle Attribute, die nur die Binnenschifffahrt betreffen.

Aus dieser Karte kann der Simulator die Informationen und Randbedingungen am Ort des Schiffes entnehmen, um die Fahreigenschaften berechnen zu können. Basierend auf dem IENC-Standard gibt es drei Möglichkeiten, die Wassertiefe darzustellen:

Bodenflächen

In der Karte sind Flächenbereiche ausgewiesen, die als „Depth Area“ bezeichnet werden. Diese Flächen besitzen ein Attribut, welches die lokale Wassertiefe angibt. Diese einfachste Form der Bereitstellung der Wassertiefe ermöglicht es nicht, eine Bodentopographie abzubilden, denn die gesamte Fläche besitzt eine konstante Wassertiefe.

Tiefenlinien

Hierbei handelt es sich um zweidimensionale Objekte („Depth Contour“), die als horizontale Schnitte durch die Bodentopographie die Linien gleicher Höhe bzw. Wassertiefe angeben. Üblicherweise interpoliert der Simulator die Wassertiefe aus den Tiefenlinien in der Umgebung, um die mittlere Wassertiefe am Bezugspunkt des Schiffes angeben zu können.

Lotungspunkte

Diese sind eindimensionale Objekte („Soundings“), die über den Gewässerboden verteilt die lokalen Tiefen darstellen. Bei genügend großer Anzahl kann auch eine komplizierte Bodentopographie mit Auskolkungen und Untiefen sehr genau durch Lotungspunkte wiedergegeben werden. Auch hier muss der Simulator die für die Berechnung verwendete Wassertiefe durch Interpolation berechnen.

Die Wassertiefe muss sich immer auf einen Basiswert beziehen. Während es sich bei Seekarten um den definierten Wert „Normal Null“ (NN) handelt, beziehen sich Binnenkarten auf definierte Stauhöhen von Seen oder Kanälen oder aber bei Flüssen auf den Wert GLW (Gleichwertigen Wasserstand), der lokal die Höhe Wasserebene über dem Meeresspiegel (NN) angibt. Bei natürlichen Flussläufen ist ein Gefälle vorhanden, so dass die Wasserebene geneigt ist.

Die Bodentopographie kann aber auch unabhängig von einer Karte in beliebiger anderer Form beschrieben werden. Letztendlich entscheidend ist, dass an jedem Punkt im Simulationsgebiet die Wassertiefe definiert ist.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es kann nur eine konstante Wassertiefe definiert werden.
- 2 Die Wassertiefe wird durch wenige Bodenflächen bestimmt und ist somit grob aufgelöst.
- 3 Die Bodentopographie wird detailliert durch Tiefenlinien, Lotungspunkte oder eine andere Form hochauflösend beschrieben.

Testverfahren

Am Simulator existiert üblicherweise ein Instruktorplatz, der über eine Ansicht der elektronischen Karte sowie Eingabemöglichkeiten für lokale Randbedingungen verfügt. Dies kann hilfsweise zu Testzwecken herangezogen werden. Das Vorhandensein von Anzeigemöglichkeiten bestimmter Details wie z. B. Tiefenlinien bedeutet aber noch nicht, dass diese Informationen auch tatsächlich bei der Simulation des Eigenschiffs berücksichtigt werden. Dies kann nur geprüft werden, indem der Flachwassereinfluss detailliert positiv nachgewiesen wird.

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form Wassertiefendaten definiert werden können.

Die Möglichkeit, am Instruktorplatz die Wassertiefe einzustellen bzw. einen Änderungswert zu definieren, weist auf eine Implementierung der Wassertiefenberücksichtigung im Simulator hin.

Die Möglichkeit, Tiefenlinien oder Soundings auf dem ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) anzuzeigen, weist darauf hin, dass diese Informationen für eine Verwendung bei der Berücksichtigung des Wassertiefeneinflusses zur Verfügung stehen.

Sofern die Möglichkeit besteht, die Bodentopographie aus externen Daten zu importieren, zeigt dies Möglichkeiten und Grenzen in der Auflösung der Bodentopographie auf.

b. Strömung

In der Binnenschifffahrt wird der meiste Verkehr auf Flüssen abgewickelt, wobei dem Rhein aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens eine herausgehobene Bedeutung zukommt. Er ist durch veränderliche Strömung gekennzeichnet, die annähernd parallel zur Richtung der Flussachse verläuft. Im Zuge der Mäandrierung bilden sich Gebiete stärkerer Strömung an den Außenkurven (Hang) und Gebiete schwächerer Strömung an den Innenkurven (Grund) aus.

Bei Hochwasser ist die Strömung am stärksten und nimmt mit dem Wasserstand ab. In den Häfen und Kanälen kann (bis auf Schleusenbrauchwasser) davon ausgegangen werden, dass die Strömungsgeschwindigkeit Null ist. An der Grenze Fluss-Hafen passieren die Schiffe eine Zone inhomogener Strömung.

Für die Modellierung der Strömung im Fahrtgebiet sind verschiedene Strategien denkbar, die entsprechend dem Aufwand in ihrer Realitätsnähe steigern.

Im einfachsten Fall kann nur eine sowohl in Richtung als auch in der Stärke konstante Strömung (homogenes Strömungsfeld) im Simulator dargestellt werden. In diesem Fall wird das Schiff nur einer zusätzlichen Translation unterworfen, die aber im Gegensatz zur Bewegung des Schiffes durchs Wasser keinen hydrodynamischen Effekt bewirkt. Ein homogenes Strömungsfeld lässt sich theoretisch nur in seitlich unbegrenzten Gewässern mit konstanter Wassertiefe finden.

Eine deutliche Verbesserung ist dadurch erzielbar, dass die Strömung dem Fluss, bzw. den Gewässerberandungen, folgt. Diese kann beispielsweise realisiert werden, indem die Strömung jeweils die Richtung annimmt, die ein am nächsten zur Schiffsposition liegender Punkt der Strommittellinie hat.

Die Mäandereffekte können dargestellt werden, indem z. B. entsprechend der Krümmung des Flusses ein Gradient auf die mittlere Strömungsgeschwindigkeit addiert wird, der die erhöhte Geschwindigkeit im Außenbogen wiedergibt.

Die Zonen von Stillwasser in Häfen und Kanälen können anhand der ENC-Attribute erkannt und im Simulator berücksichtigt werden.

Die genaueste Information über die lokale Strömung kann aus einem Vektorfeld gewonnen werden, welches das Flussgebiet mit ausreichender Rastergröße abdeckt. Diese Informationen können ebenfalls in der ENC abgelegt werden.

Die höchste Informationsstufe ist gegeben, wenn das vollständige, dreidimensionale Strömungsfeld in hoher räumlicher Auflösung angegeben ist. Es ist aber noch nicht klar, wie diese Informationen in der ENC abgelegt werden können. Es erfordert auch eine sehr ausführliche mathematische Modellierung, um ein derart detailliertes Strömungsfeld zu berücksichtigen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es kann nur ein homogenes Strömungsfeld definiert werden.
- 2 Die Strömung folgt dem Fluss (Gewässergrenzen), es existiert ein Gradient entsprechend der Krümmung, in Häfen herrscht Stillwasser
- 3 Die Strömung kann z. B. über Vektorfelder beschrieben werden.

Testverfahren

Für die Prüfung dieses Leistungsmerkmals können wie bei der Wassertiefe nur die Bereitstellungsmöglichkeiten überprüft werden. Damit ist allerdings nicht sichergestellt, dass die Umsetzung auch tatsächlich erfolgt. Dies kann erst dann geprüft werden, wenn die Wirkung der Strömung am Eigenschiff untersucht wird.

Am Bedienerfenster der Instruktorstation kann geprüft werden, ob der Simulator die automatische Generierung eines Strömungsfeldes entlang der Gewässerberandungen unterstützt. Es kann dann geprüft werden, ob sich die Strömung in der Gewässermitte von den Uferzonen unterscheidet.

Ob das Importieren von Vektorfeldern möglich ist, kann anhand des Benutzerhandbuches und durch Testen der Importvorgangs geprüft werden. In der Dokumentation sollte beschrieben sein, wie die Strömungsdaten vorzubereiten und dem Simulator für das jeweilige Übungsgebiet bereitgestellt werden müssen.

Weiterhin ist zu prüfen, ob Hafengebiete erkannt werden und die Strömung dort verschwindet.

c. Gezeiten

Eigentlich ist die Bereitstellung von Gezeiteninformationen eher für Seeschiffssimulatoren relevant. Da aber auch Binnenschiffe in den Mündungsgebieten verkehren, wo Gezeiten wirksam werden, wird dieses Merkmal hier aufgegriffen.

Bei den Gezeiten handelt es sich um eine durch die Mondbewegung verursachte langeperiodische Wellenbewegung, die einer örtlichen und zeitlichen Wasserspiegeländerung, begleitet von Strömungen, führt. Damit ist hier eine Kombination aus den beiden Merkma-

len „Wassertiefe“ und „Strömung“ gegeben, ohne deren Vorhandensein im Simulator die Bereitstellung von Gezeiteninformationen nicht sinnvoll ist.

Die sich durch die definierte Bodentopographie und eine evtl. vorgenommen Vorgabe des globalen Wasserstands ergebende lokale Wassertiefe, wird überlagert von der Gezeitenwelle. Es handelt sich also um einen veränderlichen Offset.

Die Ausbreitung der Gezeitenwelle ist abhängig von der Bodentopographie. Um eine realistische Darstellung von Ebbe und Flut sowie deren Auswirkung auf die Fahrt des Schiffes im Simulator zu modellieren, ist es notwendig, dass im Simulator die lokale Höhe der Gezeitenwelle und die Gezeitenströmung zu jeden Zeitpunkt vorliegen.

Die zeitliche und räumliche Ausbreitung der Gezeitenwelle kann durch umfangreiche Gezeitentabellen, in denen für möglichst viele diskrete Punkte im Fahrtgebiet die zeitliche Entwicklung der Wellenhöhe und Strömungsvektoren vorliegen, beschrieben werden.

Aufgrund der verfügbaren Rechnerkapazitäten ist es auch denkbar, dass die Ausbreitung von Gezeitenwellen mittels vereinfachter CFD-Verfahren durch den Simulator in Echtzeit berechnet wird.

Unterschiedliche Abstufungen der Gezeitendarstellung sind denkbar, die auch eine unterschiedliche Datenmenge erfordern. Im einfachsten Fall – der allerdings nicht sehr realitätsnah ist – existiert möglicherweise nur eine globale Änderung des Gesamtwasserstandes und / oder der Strömungsgeschwindigkeit und lediglich die Richtung der Gezeitenströmung ist ortsabhängig implementiert.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Gezeitenverhältnisse werden über Einstellung der Strömung und Pegelstände berücksichtigt (manuelle Konfiguration)
- 2 Vereinfachte Simulation der Gezeiten, die nicht zu jeder Zeit und an allen Stellen des Fahrtgebiets genau ist
- 3 Vollständige Bereitstellung aller Gezeitendaten

Testverfahren

Ein Studium der Handbücher gibt Auskunft über die Möglichkeit, Gezeiteneffekte zu simulieren. Dabei ergibt sich auch die Information, inwieweit die Detaillierung der Gezeiten möglich ist.

Ein Treibversuch mit einem Eigenschiff oder einem treibende Objekt gibt Aufschluss über die Wirkung der Gezeitenströmung. Dazu wird in eine Fahrtgebiet mit Gezeiten ein möglichst kleines, antriebsloses Objekt eingesetzt, von dem vorher getestet wurde, dass es der Strömung folgt (s. 3.2.1e).

Es wird geprüft, ob das Objekt ohne vorgegebene Grundströmung der Gezeitenströmung folgt. Durch Verstellen der Uhrzeit kann geprüft werden, ob sich die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung ändern, und zwar unterschiedlich für verschiedene Orte.

Die Höhe der Tide kann an einem Ort durch Beobachtung des Echolotanzeige zu unterschiedlichen Zeiten geprüft werden. Durch Auftragung der Wassertiefe unter dem Kiel über die Zeit lässt sich eine Tidenkurve darstellen, die mit der Vorgabe/Realität verglichen wird.

d. Wind

Üblicherweise wird Wind als in Richtung und Stärke konstant angegeben. Über das ganze Übungsgebiet herrscht im einfachsten Fall konstanter Wind. In der Realität jedoch unterliegt der Wind Schwankungen, und zwar sowohl in der Stärke (Böen) als auch in der Richtung. Dies wird von manchen Simulatoren berücksichtigt.

Inhomogener Wind kann auch durch die Vorgabe von Windfeldern realisiert werden. Dabei handelt es sich um lokal begrenzte Gebiete mit Wind vorzugebender Richtung und Stärke. Durch Anordnen verschiedener Windfelder in einem Gebiet können so auch Abschattungseffekte nachgebildet werden.

In einem Übungsgebiet mit Binnenwasserstraßen sind in der Umgebung des Eigenschiffes in der Regel viele Objekte zu verzeichnen. Neben Fremdschiffen zählen zu diesen Objekten z. B. Kaimauern, Bebauungen am Ufer oder auch Bäume am Fahrwasserrand. Alle diese Objekte beeinflussen den Wind, indem entweder Düseneffekte auftreten, wenn der Wind z. B. zwischen zwei Gebäuden durchgeleitet wird, oder aber Abschattungen, die innerhalb einer gewissen Distanz hinter dem Objekt für eine Verringerung der Windgeschwindigkeit sowie eine Ablenkung und Verwirbelung sorgen. Erst wenn diese speziellen Details des Windes in einem Simulator berücksichtigt sind, kann man von einer physikalisch realistischen Berücksichtigung des Windeinflusses sprechen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es kann nur ein homogenes, zeitlich konstantes Windfeld definiert werden.
- 2 Windschwankungen und Windfelder können definiert werden.
- 3 Die Simulation berücksichtigt auch Abschattungseffekte des Windes.

Testverfahren

Auch bei diesem Leistungsmerkmal kann nur die Bereitstellung getestet werden. Die Reaktion des Eigenschiffes (vgl. hierzu 3.2.1f) kann allerdings nur dann erfolgreich den Windeinfluss nachweisen, wenn der diese Reaktion erzeugende Wind auch entsprechend korrekt im Simulator implementiert ist.

Sofern vorhanden, ist in den Bedienerhandbüchern die Einstellung von Wind oder auch Böen beschrieben. Es ist zu prüfen, ob neben der Vorgabe von konstanter Windrichtung und -stärke (in Beaufort oder als Geschwindigkeitsangabe) weitere Vorgaben möglich sind. An der Instruktorconsole können dazu Eingabemöglichkeiten für die verschiedenen Windoptionen (global oder lokal als Windfelder) identifiziert werden.

Um eine automatisch Berechnung der Abschattung mit Landobjekten zu realisieren, muss der Simulator über eine Schnittstelle zum 3-D-Datensatz verfügen, der auch als Basis für die Sichtdarstellung dient.

Für einen Nachweis der Abschattung durch Schiffe oder andere im Simulator verfügbare Objekte ist ein Fahrversuch erforderlich. Ein einzelnes Schiff fährt dazu in einem Fahrtgebiet ohne Strömung aber mit Wind an verschiedenen ruhenden Objekten (an Land und im Wasser) vorbei. Es wird geprüft, inwieweit die Bewegung des Schiffes vom Wind in der Nähe der Objekte beeinflusst wird.

3.4.2 Sichtdatenbank

Auch wenn eine Sichtdarstellung nur durch das Zusammenwirken von Sichtsystem und Sichtdatenbank erreicht wird, ergibt sich aus dem Inhalt der Sichtdatenbank, was und in welcher Detaillierung optisch dargestellt werden kann.

In der Sichtdatenbank sind Objekte als 3D-Modelle hinterlegt, die von dem Sichtsystem während einer Simulation in entsprechender Position und Ausrichtung dargestellt werden.

Je nach Ausführung des Simulators kann die Sichtdatenbank auch zur Generierung des Radarbildes verwendet werden, es kann aber auch eine eigene Radar-Datenbank verwendet werden (s. a. 3.4.3).

Bei der Verwertung der Objekte kann grundsätzlich unterschieden werden zwischen feststehenden und beweglichen Objekten.

3.4.2.1 Feststehende Objekte

Grundlegend für die Positionierung und Einbindung aller Objekte in eine Umgebung ist das Geländemodell. Damit ist zunächst die topographisch korrekte Darstellung der Landflächen im potentiellen Sichtbereich gemeint. Diese Flächen können belegt werden mit Texturen und Objekten, die sich an der dort vorwiegenden bzw. typischen Nutzung der Flächen (Wald, Felder, Besiedlung) orientiert. Um den Wiedererkennungswert zu erhöhen und den Bezug zu konkreten Orten oder Flusskilometern herzustellen, werden markante Objekte (z. B. ausgewählte Gebäude) weitgehend realitätsnah hinterlegt. Die Flächen solcher Gebäude werden gemeinhin mittels digitaler Fotos vom realen Objekt belegt. Bei nautisch relevanten Objekten, insbesondere bei Verkehrszeichen, sind Position, Form, Farbe und Textur von herausragender Bedeutung. Ferner entscheidend bei festen Objekten sind folgende Abmessungen: das Lichtraumprofil von Brücken, Kammer und Vorhöfen bei Schleusen, Länge und Höhe bei Anlegern.

Stand der Simulationstechnik ist, dass bei festen nautisch relevanten Objekten die genannten Attribute der ENC bzw. IENC entnommen werden. Aus diesen elektronischen Karten ergeben sich ferner – unter Beachtung des jeweils eingestellten Wasserstandes (Pegel und ggfs. Tide) – der sichtbare Uferbereich bzw. die Höhenlage der Wasseroberfläche.

Die ENC- bzw. IENC-Karten beinhalten alle Daten, die für die Navigation erforderlich sind, insbesondere:

- Wasserflächen mit und ohne Strömung
- Wassertiefe (bei ENC entsprechend Niedrigwasser, bei IENC leider keine detaillierte Tiefenangabe, sondern eine der größten zulässigen Abladetiefe entsprechenden Ebene)
- Landflächen
- Betonung
- Beschilderung
- Kilometrierung
- Brücken incl. Angabe der Durchfahrtshöhe

- Anleger
- Bedeutende Gebäude
- Wasserspiegelhöhe bei GLW (gleichwertiger Wasserstand) über NN
- Unterschiede in der Uferbeschaffenheit (Sand, Gras, Kaimauer, ...)

Darüber hinaus können viele, die ENC/IENC ergänzende Objekte und Merkmale hinterlegt sein, die die Realitätsnähe der Sichtdarstellung verbessern, ohne dass sie aus nautischer Sicht von Bedeutung sind.

Bei der Generierung des Geländemodells sowie deren Texturierung und Belegung mit anderen feststehenden Objekten greifen Hersteller von Fahrsimulatoren auf verschiedene Datenquellen in unterschiedlichen Formaten zurück. Auch gibt es unterschiedliche Methoden der Datenerstellung. Aus diesem Grund können, sofern es dem Anwender überhaupt möglich ist, die Sichtdatenbank zu bearbeiten, keine allgemeingültigen Leistungsmerkmale bzgl. der Struktur der Datenbank und evtl. Bearbeitungsmethoden formuliert werden. Es kann nur die in der Simulation sichtbare Qualität der Sichtmodelle beurteilt werden.

Leistungsmerkmale

- a. 2D/3D-Modelle
- b. Detaillierungsgrad
- c. Tag-/Nacht-Modelle

a. 2D/3D-Modelle

Bei den heute verfügbaren Rechenkapazitäten ist es grundsätzlich immer möglich ein dreidimensionales Modell der feststehenden Objekte darzustellen. Wenn sich eine Szene allerdings aus sehr vielen Objekten zusammensetzt, kann der Hersteller dazu gezwungen sein, weniger wichtige Objekte zu vereinfachen und durch eine ebene, zweidimensionale Fläche darzustellen. Diese Technik wird gerne für Objekte verwendet, die in größerer Entfernung von Gewässern stehen und von der Brücke aus kaum erkannt werden können.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Auch nahe liegende Objekte werden durch eine ebene Fläche dargestellt, die fest im Raum verankert ist und beim Umfahren als solche erkennbar ist.
- 2 Auch nahe liegende Objekte werden durch eine ebene Fläche dargestellt. Diese Fläche dreht sich aber immer so, dass die Flächennormale zum Betrachter zeigt.
- 3 2D-Objekte werden nur in großer Entfernung (Hintergrund) eingesetzt und fallen in dieser Form nicht auf. Ansonsten werden 3D-Modelle verwendet.

Testverfahren

Das zu beurteilende Übungsgebiet wird geladen und ein Eigenschiff eingesetzt. Das Übungsgebiet wird vollständig abgefahren. Dabei werden die feststehenden Objekte beo-

bachtet und geprüft, ob es sich um ebene Flächen handelt, und ob diese sich zum Betrachter drehen.

b. Detaillierungsgrad

Entscheidend für die Qualität der Sichtdarstellung feststehender Objekte ist der Detaillierungsgrad, der sich sowohl auf die Form als auch auf die Oberfläche bezieht.

Die Form eines Objekts kann in ihrer einfachsten Ausprägung eine Näherung durch einen einzigen geometrischen Grundkörper sein. So kann ein Hochhaus mit einem Quader modelliert werden. Auf der anderen Seite kann die Form eines Objekts in der aufwendigsten Ausprägung durch unzählige geometrische Elemente modelliert werden. Beispielsweise könnte an einem historischen Kran am Ufer jede einzelne Niete modelliert sein.

Ähnliches gilt auch für die Oberflächen der Objekte. Diese können in einfachster Form einfarbig sein und ergeben so eine abstrakte Darstellung, die zwar nicht realistisch wirkt, für manche Übungen aber ausreicht. In der aufwendigsten Ausprägung sind die Oberflächen fotorealistisch gestaltet.

Mängel in der Detaillierung der Form lassen sich teilweise durch Texturen mit sog. Bump-Mapping ausgleichen. Damit kann ein Polyeder z. B. wie eine Kugel erscheinen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Ein einfacher Detaillierungsgrad in Form und Oberfläche lässt die Objekte als solche erkennen. Navigatorisch wichtige Objekte sind als solche exakt erkennbar.
- 2 Ein guter Detaillierungsgrad lässt die Objekte realistisch erscheinen, wenngleich Vereinfachungen in Form und Oberfläche erkennbar sind.
- 3 Ein sehr guter Detaillierungsgrad lässt die Objekte fotorealistisch erscheinen.

Testverfahren

Das zu beurteilende Übungsgebiet wird geladen und ein Eigenschiff eingesetzt. Es ist zunächst zu prüfen, ob alle navigatorisch wichtigen Objekte exakt erkennbar sind. Wirkt die Szenerie auf den ersten Blick realistisch, ist die Abstufung 2 erreicht. Wirkt die Szenerie auch nach längerem Betrachten und Durchfahren realistisch und lassen sich kaum Modellierungsartefakte feststellen, ist die Abstufung 3 erreicht.

c. Tag-/Nacht-Modelle

Die in der Datenbank gespeicherten Sichtmodelle können grundsätzlich bei jeder Beleuchtungssituation verwendet werden. Mit einsetzender Dämmerung und vor allem bei Nacht erscheinen in der realen Welt viele verschiedene Lichtquellen. Diese sind vor allem in Ufernähe für das Navigieren relevant und sollten deshalb aufgrund des von ihnen ausgehenden Störeffektes beim Training von Nachtfahrten im Simulator sichtbar sein.

Navigatorische wichtige feststehende Lichtquellen, wie z. B. Leuchtfeuer, können sogar in einem bestimmten Rhythmus leuchten (blinken).

Sofern kein gesondertes Sichtmodell für Dunkelheit vorliegt bzw. vom Benutzer erstellt werden kann, ist dieses Merkmal nicht vorhanden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 In der Dunkelheit sind nur die navigatorisch wichtigen Objekte beleuchtet.
- 2 In der Dunkelheit können beliebige Objekte beleuchtet werden. Navigatorisch wichtige Lichtquellen können in einem vorgegebenen Rhythmus leuchten.
- 3 Zusätzlich zu 2 kann die Beleuchtung von beliebigen Objekten während der Simulation vom Instruktor ein- und ausgeschaltet werden. Entsprechende Informationen sind in der Sichtdatenbank hinterlegt.

Testverfahren

Das zu beurteilende Übungsgebiet wird geladen und ein Eigenschiff eingesetzt. Die Simulationszeit wird auf 24:00 Uhr gestellt. Es ist zunächst zu prüfen, ob alle navigatorisch wichtigen Objekte in der Simulation genauso wie in der Realität beleuchtet sind. Weiterhin ist zu prüfen, ob andere Objekte beleuchtet sind. Sofern die Simulatorsoftware dies zulässt, schaltet der Instruktor die Beleuchtung an den dafür vorgesehenen Objekten ein und aus.

3.4.2.2 Bewegliche Objekte

Als ausbildungsrelevant sind an erster Stelle Schiffe, ggf. auch andere Wasserfahrzeuge, sowie treibende Objekte zu nennen.

Land- oder Luftfahrzeuge sowie andere bewegliche Objekte außerhalb der Wasserstraße können zwar den Eindruck der Realität zumindest momentan verstärken, sind aber eher als Animation einer Simulation einzuordnen und werden deshalb hier nicht weiter behandelt.

Etwas anders stellt sich die Bedeutung z. B. von Flaggen oder Rotoren von Windkraftanlagen dar. Sofern sich solche Elemente auch in der Simulation zumindest nach dem Wind ausrichten, würde hierdurch die optische Realitätsnähe der Simulation vertieft. Fahrtechnisch relevant wäre jedoch allenfalls eine Flagge am Vormast der Eigenschiffe, denn sie befindet sich im zentralen Blickfeld und lässt Rückschlüsse auf die Windrichtung zu. Darauf kann jedoch insbesondere dann verzichtet werden, wenn am Fahrstand eine Windanzeige eingerichtet ist.

Da die Darstellung des Windeinflusses auf Flaggen oder Rotoren eine besondere Modellierung und Rechenkapazität erfordert, jedoch kaum ausbildungsrelevant ist, kann auf diese Animationselemente grundsätzlich verzichtet werden. Ist eine Ausrichtung in Windrichtung dieser Elemente nicht eingerichtet, sollten besser keine Flaggen erscheinen und Windkraftanlagen nur mit Rotoren in arretierter Position dargestellt werden.

Sichtmodelle für Schiffe werden in der Regel aus dem Generalplan erstellt. Mit Hilfe des Generalplans wird ein 3-D-Modell erzeugt, welches dann mit Fotos texturiert wird. Die Fotos zum Texturieren können von ähnlichen Schiffen stammen. Es können auch z. B. Fotos von Schiffen durch entsprechende Bildbearbeitungssoftware geändert werden, so dass ein neues Farbschema für das im Computer erzeugte Schiff entsteht.

Bei Eigenschiffen ist zu beachten, dass eventuell zusätzliche Sichtpunkte wie Kameras oder Nockstände zu berücksichtigen sind, die die Sicht auf Flächen und Gegenstände erlauben, die von der Brücke bzw. vom Steuerstand aus im Sichtschatten liegen.

Leistungsmerkmale

- a. 2D/3D-Modelle
- b. Detaillierungsgrad
- c. Lichterführung und Tagessignale
- d. Tag-/Nacht-Modelle

a. 2D/3D-Modelle

Genauso wie feststehende Objekte können auch bewegliche Objekte durch eine ebene, zweidimensionale Fläche dargestellt werden. Diese Technik lässt sich sinnvollerweise nur anwenden für navigatorisch unwichtige Objekte mit geringer Tiefe oder für Objekte, die sich in größerer Entfernung von Gewässern bewegen. Für Schiffe, die dem Eigenschiff in geringer Entfernung begegnen, verbietet sich diese Technik.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Auch nahe liegende bewegliche Objekte werden durch eine ebene Fläche dargestellt und sind beim Umfahren als solche erkennbar ist.
- 2 Auch nahe liegende Objekte werden durch eine ebene Fläche dargestellt. Diese Fläche dreht sich aber immer so, dass die Flächennormale zum Betrachter zeigt.
- 3 2D-Objekte werden nur in großer Entfernung (Hintergrund) eingesetzt und fallen in dieser Form nicht auf. Ansonsten werden 3D-Modelle verwendet.

Testverfahren

Das zu beurteilende Übungsgebiet wird geladen und ein Eigenschiff eingesetzt. Das Übungsgebiet wird vollständig abgefahren. Dabei werden die verfügbaren beweglichen Objekte eingesetzt, beobachtet und geprüft, ob es sich um ebene Flächen handelt, und ob diese sich zum Betrachter drehen.

b. Detaillierungsgrad

Genauso wie bei festen Objekten kann bei beweglichen Objekten der Detaillierungsgrad in Form und Oberfläche stark variieren. Es gilt hier das gleiche, wie in Abschnitt 3.4.2.1a.

Besonders bei Schiffen, die als Fremdschiffe dem Eigenschiff sehr nahe kommen, ist ein besonders hoher Detaillierungsgrad sowohl in Form als auch in Oberfläche wünschenswert.

Bei Schiffen, die nicht nur typähnlich aussehen, sondern ein ganz bestimmtes Schiff darstellen sollen, ist auf einen hohen Detaillierungsgrad der Oberfläche zu achten.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Ein einfacher Detaillierungsgrad in Form und Oberfläche lässt die Objekte als solche erkennen. Navigatorisch wichtige Objekte sind als solche exakt erkennbar.
- 2 Ein guter Detaillierungsgrad lässt die Objekte realistisch erscheinen, wenngleich Vereinfachungen in Form und Oberfläche erkennbar sind.

- 3 Ein sehr guter Detaillierungsgrad lässt die Objekte fotorealistisch erscheinen.

Testverfahren

In ein beliebiges Übungsgebiet wird Eigenschiff eingesetzt. Es werden die zu beurteilenden beweglichen Objekte eingesetzt. Wirken diese auf den ersten Blick realistisch, ist die Abstufung 2 erreicht. Wirken die Objekte auch nach längerem Betrachten und Umfahren realistisch und lassen sich kaum Modellierungsartefakte feststellen, ist die Abstufung 3 erreicht.

c. Lichterführung und Tagessignale

Für alle Schiffe gilt, dass Navigationslichter, Lichtsignale, Signaltafeln und andere Tagessignale gemäß geltender Regeln (z. B. RheinSchUO) zu führen sind. Simulationstechnisch bedeutet dies, dass diese Lichter und Zeichen in einer Bibliothek hinterlegt sind und Schiffen zugeordnet werden können (z. B. schaltbar) oder dass Schiffe mehrfach mit unterschiedlicher Signal- oder Lichterführung abgespeichert sind.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Schiffen können alle relevanten Konstellationen der Lichter- und Signalführung fest zugeordnet werden. Je nach erforderlicher Konfiguration muss ein eigenes Sichtmodell des Schiffes verwendet werden.
- 2 Die Lichter- und Signalführung sind einzeln schaltbar, d. h. alle Lichter und Signale sind einzeln in der Datenbank hinterlegt und sind entsprechend den Vorschriften für reale Schiffe positioniert.
- 3 Zusätzlich zu 2 entsprechen die Lichterpositionen und -ausführungen exakt dem modellierten Schiff.

Testverfahren

In ein beliebiges Übungsgebiet werden ein Eigenschiff und in direkter Nähe ein Verkehrsschiff eingesetzt. Sofern möglich, werden vom Instruktor am Verkehrsschiff alle möglichen Licht- und Tagessignale gesetzt. Falls der Simulator es erlaubt, wird statt des Verkehrsschiffs ein zweites Eigenschiff eingesetzt. Am zweiten Eigenschiff werden auch alle möglichen Licht- und Tagessignale gesetzt. Am Fahrstand des ersten Eigenschiffs wird geprüft, welche Licht- und Tagessignale bei beiden Fremdschiffen sichtbar sind.

c. Tag-/Nacht-Modelle

Die in der Datenbank gespeicherten Sichtmodelle können grundsätzlich bei jeder Beleuchtungssituation verwendet werden. Mit einsetzender Dämmerung und vor allem bei Nacht können auch an und in beweglichen Objekten neben den Navigationslichtern weitere Lichtquellen angeschaltet werden. Dies können besonders bei Binnenfahrgastschiffen sehr viele sein.

Sofern keine gesondertes Sichtmodell für Dunkelheit vorliegt bzw. vom Benutzer erstellt werden kann, ist dieses Merkmal nicht vorhanden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 In der Dunkelheit können nur die navigatorisch bedeutenden Lichtsignale angeschaltet werden.
- 2 In der Dunkelheit können weitere fest definierte Lichtquellen angeschaltet werden.
- 3 Die Beleuchtung von beliebigen Lichtquellen kann während der Simulation vom Instruktor ein- und ausgeschaltet werden. Entsprechende Informationen sind in der Sichtdatenbank hinterlegt.

Testverfahren

In ein beliebiges Übungsgebiet werden ein Eigenschiff und in direkter Nähe ein Verkehrsschiff eingesetzt. Die Simulationszeit wird auf 24:00 Uhr gestellt. Sofern möglich werden vom Instruktor am Verkehrsschiff alle möglichen navigatorisch nicht relevanten Lichtquellen eingeschaltet. Falls der Simulator es erlaubt, wird statt des Verkehrsschiffs ein zweites Eigenschiff eingesetzt. Am zweiten Eigenschiff werden auch alle möglichen navigatorisch nicht relevanten Lichtquellen eingeschaltet. Am Fahrstand des ersten Eigenschiffs wird geprüft, welche Lichter bei beiden Fremdschiffen sichtbar sind.

3.4.2.3 Treibende Objekte

Treibende Objekte sind z. B. Treibholz oder Rettungsringe. Insbesondere Rettungsringe sind ausbildungsrelevant für das Durchführen von Rettungsmanövern. Ferner kann z. B. das Trainieren von Ausweichmanövern gegenüber schwimmenden Baumstämmen (Treibholz) relevant sein. Bei Bedarf werden die genannten Objekte in einer Übung einge spielt (schaltbar).

Leistungsmerkmale

- a. 2D/3D-Modelle
- b. Detaillierungsgrad
- c. Tag-/Nacht-Modelle

a. 2D/3D-Modelle

Genauso wie andere Objekte können auch treibende Objekte durch eine ebene, zweidimensionale Fläche dargestellt werden. Diese Technik lässt sich hier für viele treibende Objekte anwenden. Bei rotationssymmetrischen Objekten wie z. B. Bojen oder Tonnen kann diese sehr sinnvoll angewendet werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Treibende Objekte werden durch eine ebene Fläche dargestellt und sind beim Umfahren als solche erkennbar ist.
- 2 Treibende Objekte werden durch eine ebene Fläche dargestellt. Diese Fläche dreht sich aber immer so, dass die Flächennormale zum Betrachter zeigt.
- 3 2D-Objekte werden nur in großer Entfernung (Hintergrund) eingesetzt und fallen in dieser Form nicht auf. Ansonsten werden 3D-Modelle verwendet.

Testverfahren

Das zu beurteilende Übungsgebiet wird geladen und ein Eigenschiff eingesetzt. Das Übungsgebiet wird vollständig abgefahren. Dabei werden die verfügbaren treibenden Objekte eingesetzt, beobachtet und geprüft, ob es sich um ebene Flächen handelt, und ob diese sich zum Betrachter drehen.

b. Detaillierungsgrad

Genauso wie bei anderen Objekten kann auch bei treibenden Objekten der Detaillierungsgrad in Form und Oberfläche stark variieren. Es gilt hier das gleiche, wie in Abschnitt 3.4.2.1a.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Ein einfacher Detaillierungsgrad in Form und Oberfläche lässt die Objekte als solche erkennen. Navigatorisch wichtige Objekte sind als solche exakt erkennbar.
- 2 Ein guter Detaillierungsgrad lässt die Objekte realistisch erscheinen, wenngleich Vereinfachungen in Form und Oberfläche erkennbar sind.
- 3 Ein sehr guter Detaillierungsgrad lässt die Objekte fotorealistisch erscheinen.

Testverfahren

In ein beliebiges Übungsgebiet wird ein Eigenschiff eingesetzt. Es werden die zu beurteilenden treibenden Objekte eingesetzt. Wirken diese auf den ersten Blick realistisch, ist die Abstufung 2 erreicht. Wirken die Objekte auch nach längerem Betrachten und Umfahren realistisch und lassen sich kaum Modellierungsartefakte feststellen, ist die Abstufung 3 erreicht.

c. Tag-/Nacht-Modelle

Die in der Datenbank gespeicherten Sichtmodelle können grundsätzlich bei jeder Beleuchtungssituation verwendet werden. Mit einsetzender Dämmerung und vor allem bei Nacht können auch an treibenden Objekten Lichtquellen angeschaltet werden. Die Lichtquellen können sogar in einem bestimmten Rhythmus leuchten (blitzen, blinken).

Sofern kein gesondertes Sichtmodell für Dunkelheit vorliegt bzw. vom Benutzer erstellt werden kann, ist dieses Merkmal nicht vorhanden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Treibende Objekte können nachts über Lichtquellen verfügen.
- 2 Die Lichtquellen können in einem vorgegebenen Rhythmus leuchten.
- 3 zusätzlich zu 2 können die Lichtquellen während der Simulation vom Instruktor ein- und ausgeschaltet werden. Entsprechende Informationen sind in der Sichtdatenbank hinterlegt.

Testverfahren

In ein beliebiges Übungsgebiet wird ein Eigenschiff eingesetzt. Die Simulationszeit wird auf 24:00 Uhr gestellt. Es werden alle zu beurteilenden treibenden Objekte eingesetzt. Sofern möglich, werden vom Instruktor an den Objekten alle möglichen Lichtquellen eingeschaltet.

3.4.3 Radardatenbank

Wie in Abschnitt 3.3.3 dargestellt, kann selbst das beste Echtgerät letztlich nur das im Radarbild darstellen, was in der Simulation laufend erzeugt wird. Das Radarbild wird anhand der aktuellen Position der Radarantenne zu den umgebenden Objekten und des Geländes berechnet. Deren Eigenschaften bezüglich der Radarstrahlung (Reflexion, Dämpfung, Streuung) sind in einer Datenbank hinterlegt.

Bei Schiffsführungssimulatoren wird hierzu gemeinhin auf die Sichtdatenbank zurückgegriffen, wobei die geographische Position und Attribute der einzelnen Objekte aus der ECDIS oder anderen Datenbanken kommen können. Es kann aber auch eine zusätzliche Radardatenbank vorhanden sein, die die Radareigenschaften der Objekte und der Geländemodelle enthält.

Entscheidend ist, dass in Sicht- bzw. Radardatenbank das Geländemodell sowie einzelne Objekte in Form, Größe, Ausrichtung, Reflexionseigenschaft und Position im 3D-Format hinterlegt sind. Bei beweglichen Objekten ergeben sich Ausrichtung und Position aus dem Simulationsprozess.

Insofern gelten entsprechende Aussagen zur Sichtdarstellung auch für die Radarsimulation.

Leistungsmerkmale

- a. Radarreflexion
- b. Störechos durch Wellen
- c. Störechos durch Niederschlag

a. Radarreflexion

Da in der Realität Konstruktion (z. B. offene oder geschlossene Bauweise), Oberflächenstruktur und Material der Oberfläche (z. B. Holz oder Stahl) die Eigenschaft eines Objektes bezüglich der Radarreflexion beeinflussen, sollten entsprechende Attribute bei der Simulation berücksichtigt werden.

Ähnlich gelagert ist das Problem, wenn Verkehrszeichen (z. B. Tonnen / Baken) mit Radarreflektoren ausgestattet sind. Diese sollten in einer simulierten Fahrt früher im Radarbild erscheinen als baugleiche Objekte ohne Reflektor.

Noch markanter werden im Radarbild Objekte angezeigt, die mit „Racon“ (Radarantwortbaken / Transponder) ausgerüstet sind. In der Datenbank sollte deshalb das Attribut „Racon“ den Objekten gemäß ECDIS zugeordnet sein. Für Binnenschiffe ist Racon jedoch nur auf Seeschiffahrtstraßen relevant.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Reflexionseigenschaft ergibt sich nur aus Form und Größe.
- 2 Die Reflexionseigenschaft berücksichtigt darüber hinaus mindestens einen weiteren Faktor (Konstruktionsstruktur, Oberflächenstruktur, Material).
- 3 Die Reflexionseigenschaft ist bei Objekten mit nautischem Bezug individuell einstellbar.

Testverfahren

In welchem Umfang die Reflexionseigenschaften als Attribute von Objekten berücksichtigt sind und wie diese ggf. aktiviert bzw. verändert werden können, ist der Systembeschreibung bzw. der Bedienanleitung des Herstellers zu entnehmen.

b. Störechos durch Wellen

Wie in 3.3.3d dargestellt, werden Wellen ab einer gewissen Ausformung und Höhe im Radar angezeigt. Sofern Wellen nicht errechnet werden, müssen entsprechende Ausformungen der Wasseroberfläche in der Datenbank hinterlegt sein.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Störechos sind als Mengen von uniformen, formstabilen Objekten hinterlegt.
- 2 Störechos sind für typische Wellenbilder hinterlegt. Das Spektrum der Seegangsstufen ist dabei abgedeckt.
- 3 Attribute sind hinterlegt, damit Störechos durch Wellen in Abhängigkeit von der Windrichtung und Windstärke dargestellt werden können.

Testverfahren

Durch Beobachtung des Radarbildes bei abgestufter Einstellung einer Simulation hinsichtlich der Randbedingungen Wind (Stärke und Richtung) und/oder der Seegangstärke und Richtung. Sofern die Zunahme der Objektdichte in Abhängigkeit von Windstärke bzw. Seegangsstufe ist die Ausprägung „1“ implementiert. Kleinere Objekte werden bei hoher Windstärke bzw. Seegangsstufe nicht mehr oder nur unter Verwendung des Seaclutter-Filters und ggf. eher sporadisch angezeigt.

Sofern darüber hinaus die Störechos in einer für Wellenechos typischen Anordnung dargestellt werden, ist die Ausprägung „2“ implementiert.

Richtet sich zusätzlich zu „2“ die Anordnung der Störechos entsprechend der Wind- oder Seegangsrichtung aus, dann ist die Stufe 3 implementiert.

c. Störechos durch Niederschlag

Ähnlich wie Wellen können Niederschlagseffekte als Datenbank hinterlegt sein, auf die ggf. auch das Sichtsystem zugreift.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Störechos sind als Mengen in variabler und einstellbarer Dichte von uniformen, formstabilen Objekten bzw. als uniforme Impulse hinterlegt.
- 2 Zusätzlich zu „1“ sind Attribute hinsichtlich der Partikelgröße und/oder deren Impuls-Intensität als Einzelechos (u.a. stellvertretend für Art des Niederschlags) hinterlegt.
- 3 Attribute hinsichtlich der Ausdehnung sind hinterlegt, d.h. Niederschlagsfelder können definiert werden

Testverfahren

Das Radarbild wird bei abgestufter Einstellung einer Simulation hinsichtlich der Intensität, Art und Ausdehnung des Niederschlags beobachtet. Dabei wird geprüft, ob Niederschläge zumindest aktiviert werden können (Stufe 1), deren Intensität variiert werden kann (Stufe 2) und als Niederschlagsfelder sowie in deren Ausdehnung werden kann (Stufe 3).

Je nach Einstellung der Randbedingung „Niederschläge“ werden kleinere Objekte bei hoher Niederschlagsintensität nicht mehr oder nur unter Verwendung des Rainclutter-Filters und ggf. eher sporadisch angezeigt. Niederschlaggebiete können ausgemacht werden. Bei Erreichen eines Niederschlaggebietes verschlechtert sich die Radarsicht durch die Niederschlag-Störechos.

3.4.4 Audiodatenbank

Die Geräusche, die während der Simulation zu hören sind, sind in einer Datenbank gespeichert. Dort werden in der Regel kurze Klangstücke (Samples) gespeichert, die zu längeren Geräuschen zusammengesetzt und während der Simulation abgespielt werden. Bei Geräuschen, die ständig wiedergegeben werden, muss große Sorgfalt darauf verwandt werden, dass sich periodische Geräusche ohne Nahtstelle ergeben. Trotzdem sollten diese Geräusche leicht variieren, damit sie nicht künstlich wirken.

Die Qualität der Geräusche und der Geräuschwiedergabe wurde bereits in Abschnitt 3.3.2 behandelt. Eine direkte Beurteilung der in der Audiodatenbank gespeicherten Geräusche ist nur möglich, wenn die Datenbank eine entsprechende Schnittstelle bietet. Sie ist aber auch nicht unbedingt sinnvoll, da die Samples selten direkt abgespielt werden, sondern vielmehr durch den Simulator während der Simulation an die Simulationssituation (z. B. Abstand und Richtung der Schallquelle zum Fahrstand) angepasst werden.

Aus diesem Grund werden an dieser Stelle keine Bewertungskriterien für die Audiodatenbank angegeben.

Sofern die Möglichkeit besteht, Objekte oder Fahrtgebiete zu ändern oder hinzuzufügen, sollte auch die Möglichkeit gegeben sein die, zugehörigen Geräusche zu ändern oder neue hinzuzufügen (s. a. 3.5.5).

3.5 Weitere Ausstattungsmerkmale

Bei den nachstehend beschriebenen Aspekten stehen weniger die technischen Felder im Vordergrund, sondern funktionale Aspekte wie Kartendarstellung, Spracheinstellung, die Möglichkeit, unterschiedliche Fahrübungen an einem Simulator zeitlich parallel durchzuführen, sie aufzuzeichnen und wieder zu verwenden, sowie Schnittstellen zu externen

Daten oder Prozessen. Einzig die Wetterbedingungen können einen Einfluss auf die Simulation haben.

3.5.1 Wetterbedingungen

Windfelder können stationär sein und dann auch in der Datenbank zum Übungsgebiet gespeichert werden. Windfelder können aber auch instationär sein und müssen dann während der Simulation vom Simulator laufen berechnet werden. Ähnliches gilt auch für die Wasseroberfläche. Sie kann ungestört sein bzw. die Wellen sind so klein, dass sie keine relevante Wirkung auf die Schiffe haben. Sobald die Wellen aber so hoch sind, dass sie eine Wirkung auf die Schiffe ausüben, müssen sie auch vom Simulator laufend berechnet werden.

3.5.1.1 Seegang

In der Binnenschifffahrt ist Seegang selten relevant. Nicht zu vernachlässigen ist er aber, wenn Übungen auf größeren offenen Binnengewässern (z. B. Bodensee) oder in Küstennähe (z. B. mit einem seegehenden Binnenschiff) durchgeführt werden. Der natürliche Seegang ist die Überlagerung von Wellen unterschiedlicher Länge und Laufrichtung. Die Energieverteilung des Seegangs kann durch ein Seegangsspektrum wiedergegeben werden, aus dem sich auch die Wellenhöhen der einzelnen Wellenkomponenten ableiten lassen. Die Gesamtenergie des Seegangs kann anhand der Seegangsskala nach Petersen klassifiziert werden. Sofern der Simulator den Seegang simulieren kann, sollte zumindest die Seegangsstärke einstellbar sein.

Seegang führt zu Schiffsbewegungen in allen 6 Freiheitsgraden, besonders bemerkbar machen sich Stampf-, Tauch- und vor allem die Rollbewegung. Um die Wirkung des Seegangs zu simulieren, muss der Simulator mindestens 4 Freiheitsgrade beherrschen, für die volle Berücksichtigung alle sechs. Wenngleich die Kopplung zwischen Seegangs- und Manövrierkräften und -momente bei den meisten Schiffstypen nicht sehr stark ausgeprägt ist, ist es für die Realitätsnähe der Simulation wichtig, dass sich das Schiff zum herrschenden Seegang passend bewegt und diese Bewegungen im Sichtsystem dargestellt werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Seegangsstärke und Wellenlaufrichtung sind einstellbar, das Schiff bewegt sich aber nicht oder nicht passend zum Seegang.
- 2 Seegangsstärke und Wellenlaufrichtung sind einstellbar, das Schiff bewegt sich realistisch.
- 3 Der Seegang kann durch ein zweidimensionales Spektrum definiert werden, das Schiff bewegt sich realistisch.

Testverfahren

Obgleich es sich bei diesem Leistungsmerkmal primär um die Bereitstellung von Umwelt- und Randbedingungen für die Simulation handelt, wird bei den Testverfahren auch auf das Sichtsystem zurückgegriffen, da sich hier die Auswirkung des Seegangs am besten nachvollziehen lässt.

Wie bei allen das Fahrwasser betreffenden Details ist auch hier sowohl ein Blick in die Handbücher als auch auf die Bedienerkonsole erforderlich, um die Optionen zu prüfen, die der Simulator bezüglich dieses Leistungsmerkmals bietet. Es ist hierbei zu prüfen, ob die Eingabe der Seegangsstärke möglich ist.

Es werden alle verfügbaren Seegangsstärken und Wellenaufrichtungen nacheinander eingestellt und geprüft, wie sich das Eigenschiff im Seegang verhält. Dabei wird auch die Geschwindigkeit des Schiffes variiert.

3.5.1.2 Niederschlag

Für die Simulation der reinen Fahrt eines Schiffes ist das Wetter ohne Bedeutung. Einschränkungen der Sicht durch Dunst, Nebel, Regen, Hagel oder Schnee beeinflussen zwar nicht das Bewegungsverhalten, jedoch das Verhalten des Probanden. Auch ist der Störeffekt durch Niederschlag beim Radarbild zu berücksichtigen.

Weiterhin ist es auch denkbar, dass der Wind (Richtung und Stärke) während der Simulation verändert wird. Je nach Eigenschaft des Eigenschiffs kann der Wind Einfluss auf das Bewegungsverhalten haben (s. 3.2.1f).

Ungeachtet der Realisierung durch das Sichtsystem sollte der Simulator diverse Einstellmöglichkeiten für das Wetter haben. Der Nebel kann durch die Sichtweite oder durch Attribute wie leicht, mittel oder stark vorgegeben werden. Eine hilfreiche Option ist die Vorgabe von Nebelfeldern, die ähnlich wie Windfelder lokal begrenzte Änderungen der Sichtverhältnisse darstellen. Für eine realistische Simulation ist Wert darauf zu legen, dass beim Einfahren in ein Nebelfeld (ebenso wie beim manuellen Ändern der globalen Sichtweite) die Intensität des Nebels sich nicht schlagartig ändert, sondern graduell über einen gewissen Zeitraum. Die Stärke von Niederschlägen sollte ebenso eingestellt werden können. Die Fallrichtung des Niederschlags sollte von der Windstärke und Windrichtung abhängen.

Manche Wettererscheinungen wie Regen oder Hagel sind vielfach mit Geräuschen verbunden (s. a. 3.3.2). Auch hier wird durch das Vorhandensein einer entsprechenden Geräuschkulisse der Realitätseindruck des Simulators verstärkt. Auch der Wind erzeugt Wettergeräusche.

Da das Wetter (insbesondere die Sicht) auf vorgegebenen Einstellungen beruht, die abgerufen werden können, ist an manchen Simulatoren ein Eingriff in diese Datenbasis möglich. Auf diese Weise können bestimmte Wettervorgaben für ein spezielles Übungsgebiet modifiziert oder neu erstellt werden

Abstufung der Ausprägung

- 1 Es sind nur diffuse, sichteinschränkende Wettererscheinungen (z. B. Dunst, Nebel oder Rauch) einstellbar.
- 2 Zusätzlich zu 1 sind Niederschläge einstellbar.
- 3 Alle Wettererscheinungen (Sichteinschränkung, Niederschlag, Blitze, Wolkenformationen) sind möglich und ergeben zusammen immer ein stimmiges Bild.

Testverfahren

Zur Überprüfung des Ergebnisses von Wettereinstellungen ist ein Eigenschiff mit Sichtsystem erforderlich. Die Wirkung auf das Radarsystem kann gleichzeitig getestet werden.

Das Handbuch gibt Auskunft, wie und welche Wettererscheinungen vom Instruktor an der Konsole eingestellt werden können. Es werden alle Wettererscheinungen nacheinander eingestellt. Dabei wird geprüft, wie sich diese bemerkbar machen (Sichtsystem, Audiosystem, Radarsystem) und ob der Übergang zwischen den Wettererscheinungen abrupt oder kontinuierlich erfolgt.

3.5.2 Kartendarstellung

Die ENC/IENC kann im Simulator an zwei Stellen verwendet, die sich sehr voneinander unterscheiden können:

- **Fahrstand:** Auf den Brücken bei Binnenschiffen sind handelsübliche ECDIS-Geräte verschiedener Hersteller installiert. In einem Simulator sollten auf den Fahrständen gleichartige Systeme vorhanden sein, die dann mit virtuellen Daten aus der Simulation gespeist werden. Die Darstellung der Karten auf den Fahrständen entspricht damit der realen Praxis.
- **Instruktorkonsole:** Für den Instruktor ist es unabdingbar, das Simulationsgeschehen aus einer Kartendarstellung verfolgen zu können. Idealerweise steht ihm die gleiche ENC/IENC zur Verfügung. Die Funktionalitäten an dieser Konsole gehen über die der üblichen ECDIS hinaus. Sie umfassen diverse interaktive Optionen, um z. B. Objekte in der Simulationsumgebung zu platzieren oder zu manipulieren. Andere zusätzliche Darstellungsmöglichkeiten in der Karte sind die Bahnkurven der Schiffe, Messwerkzeuge sowie andere Funktionalitäten, die die Bedienung des Simulators bzw. die Erstellung und Steuerung einer Übung ermöglichen oder erleichtern.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Kartenoptionen sind dürftig.
- 2 Alle Standardfunktionen eines ECDIS sind vorhanden und die Kartenoptionen reichen zur Bedienung des Simulators aus
- 3 Alle Funktionalitäten eines ECDIS sind vorhanden und die Bedienoptionen sind sehr umfangreich und komfortabel

Testverfahren

Eine Übung wird in einem bekannten Gebiet gestartet, es wird geprüft – evtl. im direkten Vergleich mit einem Originalgerät – ob die Funktionalitäten des ECDIS dem Standard entsprechen. Weiterhin wird geprüft, ob alle Funktionen, die zum Kontrollieren einer Simulation erforderlich sind, zumindest in der Kartendarstellung an der Instruktorkonsole vorhanden sind.

3.5.3 Betriebsmodi

3.5.3.1 Sprachoptionen

Weil in der Seeschifffahrt der Gebrauch der englischen Sprache international üblich ist, sind praktisch alle Seeschiffssimulatoren so ausgestattet, dass die Bedienung komplett in Englisch durchgeführt wird. Dies schließt die Beschriftung der Bildschirme sowie die Abfassung der Handbücher ein.

In der Binnenschifffahrt jedoch (hier speziell auf den Rhein bezogen) sind mehrere Sprachen üblich wie Deutsch, Niederländisch oder Französisch. Bei Ausdehnung der Fahrtgebiete nach Osten kommen weitere lokale Sprachen hinzu.

Allerdings handelt es sich bei den lokalen Sprachoptionen vorrangig nur um die Beschriftung der Instrumente sowie die Texte auf den verschiedenen Bildschirmen auf dem Fahrstand oder an den Bedienerplätzen.

In der Regel sind die Instruktoren in der Lage, einen in Englisch beschrifteten Simulator problemlos zu bedienen, und die Probanden haben ebenfalls meistens keine Schwierigkeiten, mit z. B. in Englisch beschrifteten Radargeräten umzugehen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Sprachvorgabe des Herstellers wird verwendet.
- 2 Der Simulator ist in der Sprache des Benutzers ausgestattet.
- 3 Die Sprache für die Anzeigen und Geräte ist frei wählbar.

Testverfahren

Ein Blick in die Handbücher und auf die Bedienerkonsole und die Instrumente lässt erkennen, welche Sprachoption für den betrachteten Simulator gültig ist.

3.5.3.2 Anzahl parallel laufender Simulationen (Übungen)

Sind mehrere Fahrstände vorhanden, stellt sich die Frage, ob alle Probanden gleichzeitig nur in einem gemeinsamen Übungsszenario trainieren können oder ob die technischen Möglichkeiten des Simulators die parallele Durchführung verschiedener Übungen erlauben. Letzteres bietet vor allem den Vorteil, verschiedene Kurse parallel durchführen zu können.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Der zeitlich parallele Ablauf von mehreren Übungen ist nicht möglich. Alle aktivierten Schiffe sind Bestandteil der gleichen Übung.
- 2 Es ist möglich, zwei Übungen parallel durchzuführen.
- 3 Es können mehr als zwei Übungen parallel durchgeführt werden.

Testverfahren

Die Anzahl der gleichzeitig und unabhängig voneinander durchführbaren Übungen ist der Leistungsbeschreibung bzw. dem Handbuch des Herstellers zu entnehmen. In einem Testlauf wird die maximal mögliche Anzahl an gleichzeitig laufenden Übungen gestartet.

3.5.4 Speichermöglichkeiten / Replay

In den allermeisten Fällen wird der Simulator dazu eingesetzt, um spezielle Fahr- und Verkehrssituationen zu trainieren. Da die menschliche Interaktion eine wesentliche Komponente darstellt, lassen sich einzelne Simulationsabläufe kaum reproduzieren. Es ist für eine nachträgliche Beurteilung und Analyse deshalb unabdingbar, dass die Simulation aufgezeichnet wird, um sie im Nachhinein in Ruhe detailliert untersuchen zu können, um beispielsweise Fahrfehler zu verdeutlichen.

Leistungsmerkmale

- a. Speicherung der Simulationswerte
- b. Aufzeichnung des Crewverhaltens
- c. Wiedergabe an einer Arbeitsstation
- d. Wiedergabe mit dem gesamten Simulator
- e. Wiederaufnahme einer Simulation
- f. Analysemöglichkeiten und Datenexport
- g. Archivierung

a. Speicherung der Simulationswerte

Unter dem Begriff Simulationswerte werden alle Werte zusammengefasst, die in die Simulation einfließen (z. B. Stellung der Bedienhebel und Schalter) oder während der Simulation berechnet werden (z. B. Schiffspositionen und -geschwindigkeiten, Kräfte, Anzeigewerte der Brückengeräte, Radarbilder).

Die Datenmenge (bzw. der Satz der Simulationswerte), die gespeichert wird, kann an das Anforderungsprofil angepasst sein. So ist es für einfache Ausbildungszwecke nicht nötig, interne Simulationswerte zu speichern. Es müssen nur diejenigen Werte aufgezeichnet werden, die sicherstellen, dass am Fahrstand alles so erscheint wie während der Simulation. Bei speziellen Manövern (Schleppvorgänge, Ankern, Passieren u. ä.) kann es dagegen nötig sein, dass zusätzliche Daten, die nicht am Fahrstand dargestellt werden, gespeichert werden, um später ein besseres Verständnis für das Geschehen zu erlangen. Dazu gehören z. B. Trossenkräfte oder hydrodynamische Kräfte.

Wenn eine Simulation bis zu einem bestimmten Punkt wiedergegeben werden soll, um sie von da an neu laufen zu lassen, müssen alle Werte gespeichert werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Aufzeichnung der Simulation nur als Dokumente und oder Snapshots.
- 2 Es werden alle Simulationswerte aufgezeichnet, die erforderlich sind, um die Simulation erneut wiederzugeben.
- 3 Es werden alle Simulationswerte gespeichert.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und welche Simulationswerte gespeichert werden können.

Zur Überprüfung wird eine Simulation gestartet und die Speicherung entweder vor oder beim Beenden der Simulation nach Anleitung vorgenommen. Gemäß Handbuch wird die Simulation wieder geladen. Es wird geprüft, ob und welche die Daten für einzelne oder beliebige Zeitpunkte vorliegen.

b. Aufzeichnung des Crew-Verhaltens

Die Kernaufgabe eines Schiffsführungssimulators besteht darin, das Verhalten der Schiffsbesatzung beim Führen eines Schiffes zu trainieren und anhand von Fehleranalysen zu verbessern.

Neben der Aufzeichnung der Bedienung der Brückeninstrumente ist hierzu die Sprachaufzeichnung wichtig. Dazu gehören sowohl die Gespräche am Fahrstand als auch die Funk- und Telefongespräche mit anderen Verkehrsteilnehmern oder Landstellen. Es kann u. U. auch hilfreich sein, das Verhalten des Schiffsführers zu filmen.

Auch Möglichkeiten der Aufzeichnung des Crewverhaltens können an das Anforderungsprofil angepasst sein. Insbesondere wenn nur ein Eigenschiff in der Simulation fährt und kein Ausbildungsleiter als Sprachgegenstelle auftritt, kann auf eine Sprachaufzeichnung verzichtet werden. Sobald jedoch mehrere Eigenschiffe in der Simulation agieren oder der Sprechfunkverkehr mit anderen Verkehrsteilnehmern oder Landstellen simuliert wird, ist eine Sprachaufzeichnung wichtig.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Sprechfunkverkehr kann aufgezeichnet werden.
- 2 Zusätzlich zu 1 können Gespräche am Fahrstand aufgezeichnet werden.
- 3 Zusätzlich zu 2 wird die Brückensituation gefilmt.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und welche Gespräche auf der Brücke aufgenommen, ggf. per Video aufgezeichnet werden können. Bei der Überprüfung ist darauf zu achten, ob die Aufzeichnung synchron mit den anderen Simulationswerten erfolgt.

c. Wiedergabe an einer Arbeitsstation

Zur Bewertung einer Simulation in einer Nachbesprechung sollte es möglich sein, sie an einer Arbeitsstation in kompakter Form wiederzugeben. Die Darstellung kann evtl. mit einem Projektor für alle Teilnehmer sichtbar gemacht werden. Grundlage der Darstellung ist die Kartenansicht mit einem frei wählbaren Ausschnitt. Dazu sollte die Möglichkeit bestehen, ausgewählte Simulationswerte (z. B. Stellung von Bedienhebeln, Ruderwinkel) einzublenden. Die Simulation sollte, auch im Zeitraffer, beliebig vor- und zurückgespult werden können, damit einzelne Verhaltensweisen detailliert analysiert werden können.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Die Wiedergabe der Simulation ist auf die Kartendarstellung beschränkt.
- 2 Die Wiedergabe der Simulation ist auf die Karten- und Radardarstellung beschränkt.
- 3 Wie 2, zusätzlich können beliebige Werte eingeblendet werden.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und mit welchen Optionen die Wiedergabe an einer Arbeitsstation möglich ist. Zur Überprüfung wird eine gespeicherte Simulation an der Arbeitsstation geladen und je nach Möglichkeit das Radarbild eines oder mehrerer Eigenschiffe eingeblendet. Außerdem werden – soweit möglich – beliebige Simulationswerte eingeblendet.

d. Wiedergabe mit dem gesamten Simulator

In Übungen, bei deren Analyse die Instrumente an einem oder mehreren beteiligten Fahrständen von Bedeutung sind, ist es von Vorteil, die gespeicherte Simulation mit allen Komponenten des Simulators wiederzugeben. Der Simulator verhält sich dann genauso wie während der Simulation, mit Ausnahme dass er keine Eingaben akzeptiert, die den Ablauf der Simulation verändern würden. Alle Darstellungen und Anzeigen entsprechen der gespeicherten Simulation, ebenso alle Geräusche. Nur Bedienhebel, die keinen Antrieb haben, werden nicht gestellt. Die Simulation sollte beliebig vor- und zurückgespult werden können, auch im Zeitraffer.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Eine Wiedergabe mit dem gesamten Simulator ist nur als Radarsicht / ECDIS möglich.
- 2 Eine Wiedergabe mit dem gesamten Simulator ist möglich.
- 3 Zusätzlich zu den unter Ziffer 2 genannten Anforderungen haben alle Bedieninstrumente einen Antrieb und stellen sich in die Position, die sie während der Simulation hatten.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und mit welchen Optionen die Wiedergabe mit dem gesamten Simulator einer Arbeitsstation möglich ist. Zur Überprüfung wird eine gespeicherte Simulation geladen und mit dem gesamten Simulator wiedergegeben. Es kann dabei festgestellt werden, welche Systeme (Sicht, Audio, Radar, Instrumente) bei der Wiedergabe verwendet werden.

e. Wiederaufnahme einer Simulation

Wenn eine Wiedergabe mit dem gesamten Simulator möglich ist, kann die Wiedergabe an einem beliebigen Punkt gestoppt werden. Der Simulator kann von diesem Zustand aus vom Wiedergabe- in den Simulationsbetrieb geschaltet werden.

Damit können schwierige Situationen wiederholt trainiert und aus Fehlern gelernt werden. Wenn eine alte Simulation alternativ weitergeführt wird, entsteht hierbei eine neue Simulation, die wieder getrennt gespeichert werden kann.

Eine laufende Simulation sollte jederzeit gestoppt und zu einem früheren Zeitpunkt zurückgespult werden können. Sie kann dann im laufenden Betrieb erneut gestartet werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Eine Wiederaufnahme einer gespeicherten Simulation ist möglich im Sinne einer Fortführung. Es wird dabei keine alternative Simulation erzeugt, sondern die alte wird fortgesetzt.
- 2 Eine Wiederaufnahme am Startpunkt oder einem anderen Zeitpunkt einer gespeicherten Simulation ist möglich. Es wird dabei keine alternative Simulation erzeugt, sondern die alte wird fortgesetzt.
- 3 Eine laufende Simulation kann beliebig oft gestoppt, zurückgespult und wieder gestartet werden. Bei jedem Start wird eine alternative Simulation gespeichert.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und mit welchen Optionen die Wiederaufnahme einer gespeicherten Simulation möglich ist. Zum Überprüfen der Ausprägung ist den Anweisungen im Handbuch zu folgen.

f. Analysemöglichkeiten und Datenexport

Zur Analyse kann es nötig sein, die Zeitschriebe ausgewählter Simulationswerte zu untersuchen. Entweder stellt der Simulatorhersteller hierzu ein passendes Analysewerkzeug bereit oder es gibt die Möglichkeit, ausgewählte Zeitschriebe zu exportieren, um sie mit einem anderen Programm zu analysieren.

Der Export der Daten in einem frei verwendbaren bzw. allgemein üblichen Datenformat (csv, OpenDocument, Excel) ist zu bevorzugen, weil zum Zeitpunkt der Beschaffung nicht alle erforderlichen Analysefunktionen bekannt sind bzw. sich diese im Laufe der Nutzung ändern können.

Sofern mit dem Simulator ein Analysewerkzeug mitgeliefert wird, sollten die Zeitschriebe ausgewählter Simulationswerte dargestellt, gedruckt und als Grafikdatei exportiert werden können. Auch sollte bei der Darstellung von Schiffspositionen bzw. -bahnen die Navigationskarte mit dargestellt werden.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Darstellung oder Export bleibt dem Hersteller vorbehalten.
- 2 Eine Darstellung von Zeitschrieben ist möglich.
- 3 Ein Export aller Daten ist möglich.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und welche Daten aus gespeicherten Simulationen exportiert werden können. Zum Überprüfen der Ausprägung

ist den Anweisungen im Handbuch zu folgen. Danach werden die exportierten Daten überprüft.

g. Archivierung

Wenn die Simulationen z. B. aus prüfungsrechtlichen Gründen gespeichert werden müssen, ist es erforderlich, dass die Simulationsdaten projektbezogen archiviert werden können.

Je nach Einsatzumgebung kann es nötig sein, dass der Zugriff auf gespeicherte Simulationen nutzerspezifisch beschränkt wird.

Die Simulationsdaten sollten auf einem externen Datenträger gesichert werden können. Die technische Umsetzung der Sicherung sollte frei wählbar sein, damit sie zu bereits vorhandener IT-Infrastruktur passt.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Eine Archivierung ist nur durch Papiaerausdruck möglich.
- 2 Eine Archivierung ist nur innerhalb des Simulatorsystems möglich.
- 3 Eine Archivierung kann auf externen Datenträgern erfolgen.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form die Archivierung von gespeicherten Simulationen möglich ist.

3.5.5 Schnittstellen

Selbst wenn der Simulator als Gesamtsystem mit allen benötigten Leistungsmerkmalen geliefert wird, kann es von großem Interesse sein, dass Daten zwischen dem eigenen und anderen Simulatoren ausgetauscht werden können.

So können durch die Übertragung von Schiffen, Objekten oder Übungsgebieten Zeit- und Kosten für deren Erstellung eingespart werden. Die Übertragungen von aufgezeichneten Simulationsläufen erlaubt eine geräte- bzw. ortsunabhängige Weiterverwertung.

Sofern Daten in eine Datenbank importiert werden können, können diese Daten aus unterschiedlichen Quellen stammen. Sie können aus anderen Simulatoren übernommen werden. Sie können aber auch selbst oder von Dritten erzeugt worden sein. Im jedem Fall müssen die Daten im passenden Format vorliegen oder mit entsprechenden Konvertierungsprogrammen umgewandelt werden. Die für das eigenständige Erzeugen zu importierender Daten erforderlichen Programme sind nicht notwendigerweise Teil des Lieferumfangs des Simulators. Auch die Möglichkeit, Daten innerhalb der Softwareumgebung des Simulators zu bearbeiten, ist als kombinierter Ex-/Import zu verstehen. Evtl. sind die Bearbeitungsmöglichkeiten auf manuelle Manipulation beschränkt, was die Veränderung größerer Datenmengen praktisch einschränkt.

Ein Datenaustausch in Echtzeit ermöglicht eine interaktive, simultane Simulation an räumlich getrennten Standorten, u. U. mit Simulatoren unterschiedlicher Hersteller. Die Notwendigkeit eines simultanen Datenaustausches ergibt sich auch, wenn unterschiedliche

Simulatortypen (Schiffsführungssimulator, Maschinensimulator, Sicherheitssimulator usw.) einbezogen werden sollen.

Vergleichsweise einfach kann sich der Austausch von statischen Daten (z. B. von Schiffsmo-
dellen, Geländemodellen, Strömungsdaten) gestalten. Weitaus schwieriger ist
der Austausch von dynamischen Daten, also der Datenaustausch während der laufenden
Simulation.

Die Fähigkeit zum Datenaustausch ist dabei nicht die alleinige Eigenschaft des eigenen
Simulators, sondern ergibt sich aus der Kombination der beiden beteiligten Simulatoren.
Selbst wenn der Simulator grundsätzlich zum Datenaustausch fähig ist, kann es sein,
dass alleine durch verschiedene Softwarestände ein Datenaustausch auch zwischen Si-
mulatoren des gleichen Herstellers und gleichen Typs nicht möglich ist. Ferner sind ggf.
Lizenzrechte zu beachten.

Die Bewertung des Interface muss letztendlich für jede Kombination von beiden beteilig-
ten Simulatoren einzeln erfolgen.

Leistungsmerkmale

- a. Austausch von Schiffsmo-
dellen
- b. Austausch von Geländemodellen
- c. Austausch von Übungsgebieten
- d. Austausch von Strömungsdaten
- e. Austausch von Tidemodellen
- f. Übertragung von aufgezeichneten Simulationsläufen
- g. Kopplung mit externen Berechnungsverfahren
- h. Kopplung mit anderen Simulatoren
- i. Audiodaten

a. Austausch von Schiffsmo- dellen

Schiffsmo-
delle bestehen aus dem Sichtmodell, das zur Darstellung verwendet wird, dem
mathematischen Modell, dass für die Simulation der Schiffsdynamik verwendet wird, und
weiteren Informationen (z. B. Definition des Motorengeräuschs).

Für den Austausch des Sichtmodells ist entscheidend, dass das gleiche Datenformat für
das Geometriemodell und die Texturen verwendet wird bzw. dass eine Konvertierung
möglich ist. Sofern nicht das gleiche Geometriemodell verwendet wird und kein Konvertie-
rungsprogramm vorhanden ist, müssen zumindest die Datenformate dokumentiert sein.
Bei einer Konvertierung kann es zu Modellierungsfehlern kommen, wenn sich die Geo-
metrie-Entitäten des einen Formats sich nicht exakt auf die des anderen abbilden lassen.
Nach dem heutigen Stand der Technik sind dabei aber keine großen Abweichungen zu
erwarten. Auch ist im Einzelfall zu prüfen, ob ein zu importierendes Geometriemodell für
den Simulator zu komplex ist (z. B. Anzahl der Polygone, Größe und Zahl der Texturen).

Wenn bei beiden Simulatoren das gleiche mathematische Modell verwendet wird, müssen
nur die Modellparameter ausgetauscht werden. Andernfalls muss das Modell des einen

Simulators in eine möglichst äquivalente Form für den anderen Simulator konvertiert werden. Hierzu müssen beide mathematischen Modelle dokumentiert sein. Je ähnlicher die beiden verwendeten Modelle sind, umso geringer sind die Übertragungsfehler. Handelt es sich bei beiden Modellen um Parametermodelle, ist die Übertragbarkeit meist sehr gut. Auch lassen sich Parameter- und Interpolationsmodelle gut ineinander übertragen. Bei der Übertragung von einem zu einem anderen Interpolationsmodell spielt die Größe des Datenraums eine entscheidende Rolle.

Sobald die Modellierung des Schiffes – auch teilweise – durch Echtzeit-CFD-Methoden erfolgt, gestaltet sich eine Übertragung äußerst schwierig.

Ex- und Import sind nicht notwendigerweise gleich gestaltet. Es gibt gute Gründe für Simulatorhersteller, den Import von Schiffsmodellen zuzulassen und den Export zu unterbinden. Dies kann auch für verschiedene Schiffe unterschiedlich geregelt sein.

a.1) technische Ausprägung

- 1 Ein Austausch von Schiffsmodellen ist nur durch den Hersteller möglich.
- 2 Schiffsmodelle können theoretisch ausgetauscht werden. Die vorliegenden Datenformate sind dokumentiert, aber nicht kompatibel.
- 3 Schiffsmodelle können ausgetauscht werden. Die Datenformate sind kompatibel, evtl. unter Verwendung von vorhandener Konvertierungssoftware.

a.2) lizenzrechtliche Ausprägung

- 1 Ein Austausch von Schiffsmodellen ist nur durch den Hersteller möglich.
- 2 Schiffsmodelle dürfen nur importiert werden.
- 3 Zusätzlich zu 2 dürfen (zumindest herstellereigene) Schiffsmodelle exportiert werden.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form Schiffsmodelle im- und exportiert werden können und dürfen.

b. Austausch von Geländemodellen

Zu den Geländemodellen gehören die Geometriedaten und Texturen, die im Sichtsystem verwendet werden. Für den Austausch ist entscheidend, dass das gleiche Datenformat für das Geometriemodell und die Texturen verwendet wird bzw. dass eine Konvertierung möglich ist. Auch ein Austausch von einzelnen Geometriemodellen, wie z. B. Gebäuden, Brücken, kann wichtig sein.

Da Geländemodelle nur ein Teil der Übungsgebiete sind, werden die Austauschmöglichkeiten durch die Software bestimmt, die zum Erstellen der Übungsgebiete verwendet wird. Diese ist allerdings, sofern überhaupt Übungsgebiete vom Anwender erstellt und bearbeitet werden können, Teil des Lieferumfangs des Simulators.

Geometriemodelle werden in sehr vielen technischen Bereichen verwendet. Deshalb gibt es eine große Anzahl an Programmen zur Modellierung, und in den meisten Fällen kann

eine Software gefunden werden, mit der die vorliegenden Datenformate konvertiert werden können.

Sofern der Simulator ein nicht gängiges Datenformat verwendet und auch keine Konvertierungssoftware mitgeliefert wird, ist es erforderlich, dass das Datenformat vollständig dokumentiert ist, damit eine entsprechende Software nachträglich erstellt werden kann.

b.1) technische Ausprägung

- 1 Ein Austausch von Geländemodellen ist nur durch den Hersteller möglich.
- 2 Geländemodelle können theoretisch ausgetauscht werden. Die vorliegenden Datenformate sind dokumentiert, aber nicht kompatibel.
- 3 Geländemodelle können ausgetauscht werden. Die Datenformate sind kompatibel, evtl. unter Verwendung von vorhandener Konvertierungssoftware.

b.2) lizenzrechtliche Ausprägung

- 1 Ein Austausch von Geländemodellen ist nur durch den Hersteller möglich.
- 2 Geländemodellen dürfen nur importiert werden.
- 3 Zusätzlich zu 2 dürfen (zumindest herstellerfremde) Geländemodelle exportiert werden.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form Geländemodelle im- und exportiert werden können und dürfen.

c. Austausch von Übungsgebieten

Der wesentliche Bestandteil eines Übungsgebiets ist die Beschreibung der vom Schiff befahrbaren Wassergebiete. Dies erfolgt häufig durch elektronische Karten (ENC/IENC). Weiterhin kann ein Geländemodell zum Übungsgebiet gehören. Die elektronische Karte kann ergänzt werden durch eine detaillierte Bodentopographie und ein detailliertes Strömungsfeld. Zum Übungsgebiet werden hier nur alle zeitlich unveränderlichen Objekte gezählt, der Austausch von Strömungsdaten wird weiter unten behandelt.

Der einfache Austausch von Übungsgebieten ist in der Regel nur zwischen Simulatoren eines Herstellers möglich. Es handelt sich hierbei um sehr große Datenmengen, die sich oft auf eine große Zahl von Dateien und Datenbankeinträgen verteilen. Sofern es vom Hersteller keine Unterstützung für den Austausch ganzer Übungsgebiete gibt, ist eine ausführliche Dokumentation der vollständigen Datenstruktur erforderlich, damit eigene Software für den Austausch erstellt werden kann.

c.1) technische Ausprägung

- 1 Ein Austausch von Übungsgebieten ist nur durch den Hersteller möglich.
- 2 Übungsgebiete können theoretisch ausgetauscht werden. Die vorliegenden Datenformate sind dokumentiert, aber nicht kompatibel.
- 3 Übungsgebiete können ausgetauscht werden. Die Datenformate sind kompatibel, evtl. unter Verwendung von vorhandener Konvertierungssoftware.

c.2) lizenzrechtliche Ausprägung

- 1 Ein Austausch von Übungsgebieten ist nur durch den Hersteller möglich.
- 2 Übungsgebiete dürfen nur importiert werden.
- 3 Zusätzlich zu 2 dürfen (zumindest herstellerfremde) Übungsgebiete exportiert werden.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form Übungsgebiete im- und exportiert werden können und dürfen.

d. Austausch von Strömungsdaten

Detaillierte Strömungsdaten können das Übungsgebiet ergänzen und zu einer wesentlich realistischeren Simulation führen. Strömungsdaten können aus numerischen Simulationen oder aus Naturmessungen gewonnen werden. Sie werden in vielen verschiedenen Datenformaten bereitgestellt. In der Regel wird ein Konvertierungsprogramm eingesetzt werden müssen, um das spezifische Datenformat an den eigenen Simulator anzupassen. Es ist deshalb erforderlich, dass das Datenformat ausführlich dokumentiert ist.

Der Export von Strömungsdaten ist kaum erforderlich, weil diese selten vom Simulatorhersteller geliefert werden, sondern meist als externe Daten vorliegen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Ein Austausch von Strömungsdaten ist nur durch den Hersteller möglich.
- 2 Strömungsdaten können theoretisch ausgetauscht werden. Die vorliegenden Datenformate sind dokumentiert, aber nicht direkt kompatibel.
- 3 Strömungsdaten können ausgetauscht werden. Die Datenformate sind kompatibel, evtl. unter Verwendung von vorhandener Konvertierungssoftware.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form Strömungsdaten im- und exportiert werden können.

e. Austausch von Tidemodellen

Tidemodelle sind letztlich eine Erweiterung der Strömungsdaten. Tideströmungen sind instationär, d. h. zyklisch mit der Periode des Mondumlaufs. Gleichzeitig mit der Strömung verändert sich periodisch auch der Ruhewasserspiegel. In großen Gebieten wird aus dem Ruhewasserspiegel eine (lange) Tidewelle, d. h. durch das Tidemodell werden die zeitabhängigen Ruhewasserspiegel und Strömungsgeschwindigkeiten im ganzen Strömungsgebiet bzw. an diskreten Punkten vorgegeben.

Die darunter liegenden Datenstrukturen sind ebenso wie die der Strömungsdaten herstellerspezifisch. Für den Import ist ein spezielles Programm erforderlich, das vom Hersteller für ein dokumentiertes Datenformat mitgeliefert werden kann.

Liegt das Tidemodell in einem abweichenden Datenformat vor, muss ein eigenes Konvertierungsprogramm erstellt werden. Manche Simulatoren haben integrierte Interpolationsmodelle zur Berechnung der Tideströmung, die mit sehr wenigen Datenpunkten auskommen. Beim Austausch von Tidemodellen müssen die Eigenschaften der hinterlegten Tidemodelle berücksichtigt werden.

Der Export von Tidedaten ist kaum erforderlich, weil diese selten vom Simulatorhersteller geliefert werden, sondern meist als externe Daten vorliegen.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Ein Austausch von Tidedaten ist nur durch den Hersteller möglich.
- 2 Tidedaten können theoretisch ausgetauscht werden. Die vorliegenden Datenformate sind dokumentiert, aber nicht direkt kompatibel.
- 3 Tidedaten können ausgetauscht werden. Die Datenformate sind dokumentiert und kompatibel, evtl. unter Verwendung von vorhandener Konvertierungssoftware.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form Tidemodelle im- und exportiert werden können.

f. Übertragung von aufgezeichneten Simulationsläufen

Wenn mehrere getrennte Simulatoren verfügbar sind, kann es sehr nützlich sein, aufgezeichnete Simulationsläufe von einem auf den anderen zu übertragen. So kann z. B. der ursprünglich genutzte Simulator für weitere Simulationen genutzt werden, während ein zweiter zur Analyse der aufgezeichneten Simulationsläufe verwendet wird. Eine Analyse eines Simulationslaufes kann auch ganz ohne Simulator erfolgen (s. a. 3.5.4f).

Abstufung der Ausprägung

- 1 Ein Austausch von aufgezeichneten Simulationsläufen ist nur durch den Hersteller möglich.
- 2 Aufgezeichnete Simulationsläufe können theoretisch ausgetauscht werden. Die vorliegenden Datenformate sind dokumentiert, aber nicht direkt kompatibel.
- 3 Tidedaten können ausgetauscht werden. Die Datenformate sind dokumentiert und kompatibel, evtl. unter Verwendung von vorhandener Konvertierungssoftware.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form Tidemodelle im- und exportiert werden können.

g. Kopplung mit externen Berechnungsverfahren

Viel aufwendiger als der Austausch von statischen Daten ist die dynamische Kopplung des Simulators mit externen Berechnungsverfahren. Dadurch können Teile der Simulationsberechnungen ergänzt oder ersetzt werden. Dies kann zu einer wesentlich genaueren und damit realistischeren Simulation führen.

Eine Voraussetzung dafür ist, dass der Simulator eine Software-Schnittstelle bereitstellt, die mit externen Prozessen kommunizieren kann. Das externe Berechnungsverfahren muss mit dieser Simulator-Schnittstelle kommunizieren können und es muss strikt synchron mit dem Simulator arbeiten. Weiterhin muss das externe Berechnungsverfahren mit der gleichen Datenbasis wie der Simulator arbeiten.

Die Komplexität der Schnittstelle ist abhängig von der Komplexität des externen Berechnungsverfahrens. Mit einfachen externen Berechnungen können z. B. zusätzliche Kräfte in die Simulation des Eigenschiffs eingebracht werden. Dies kann nötig sein, um Kraftwirkungen zu simulieren, die im Simulator nicht berücksichtigt sind (z. B. Sloshingkräfte), oder es werden mathematische Kraftmodelle im Simulator durch genauere ersetzt. Mit anderen Berechnungsverfahren könnten z. B. auch besondere Steuerungsalgorithmen für Verkehrsschiffe realisiert werden.

Die komplexesten Berechnungsverfahren sind Echtzeit-CFD-Verfahren. Diese erfordern eine hohe Rechenleistung und teilweise eine leistungsfähige Datenschnittstelle. Wenn mit CFD-Verfahren nur die Schiffsdynamik berechnet wird, ist eine Schnittstelle zum Simulatorkern erforderlich. Wird auch die freie Oberfläche berechnet, ist auch ein Schnittstelle zum Sichtsystem erforderlich.

Die konkreten Anforderungen an die Schnittstelle hängen davon ab, mit welchem externen Berechnungsverfahren der Simulator gekoppelt werden soll.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Schnittstellen zu externen Prozessen können nur vom Hersteller kundenspezifisch bereitgestellt werden.
- 2 Der Simulator bietet Schnittstellen zu externen Prozessen.
- 3 Die Schnittstellen des Simulators können verändert werden.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form eine Kopplung mit externen Berechnungsverfahren möglich ist.

h. Kopplung mit anderen Simulatoren

Bei sehr großen Simulationen, wenn z. B. die Anzahl der Fahrstände in einem Simulator nicht ausreicht, aber auch aus anderen Gründen kann es notwendig sein, dass die beteiligten Eigenschiffe von verschiedenen (räumlich getrennten) Standorten gesteuert werden. Hierzu müssen Simulatoren im Simulationsbetrieb gekoppelt werden, sodass alle dieselbe Simulation synchron durchführen.

Dafür erforderliche Techniken sind in der Norm IEEE1516 (High Level Architecture) bereits festgelegt. Abhängig von den eingesetzten Simulatoren können aber auch proprietäre Techniken zum Einsatz kommen.

Bei der Kopplung muss sichergestellt werden, dass die Datenübertragungsrate zwischen allen beteiligten Simulatoren für einen synchronen Echtzeitbetrieb ausreicht. Alle Simulatoren müssen dieselben Übungsgebiete einsetzen.

In der Simulation müssen ferner dieselben Umweltbedingungen herrschen (Wetter, Seegang, Tide usw.). Dabei können die Umweltbedingungen innerhalb eines Übungsgebietes von Ort zu Ort durchaus variieren, d. h. ein Schiff in einem Simulator kann schon in einer Regenfront fahren, während ein anderes Schiff in einem anderen Simulator aber im gleichen Übungsgebiet noch ohne Regen fährt.

Es ist nicht nötig, dass die mathematischen Modelle bzw. Berechnungsverfahren der Eigenschiffe identisch sind, da die Eigenschiffe eines Simulators als Verkehrsschiffe in den jeweils anderen Simulatoren erscheinen.

Die Sichtdarstellung sowohl des Geländemodells als auch der Schiffe sollte identisch sein.

Eine Kommunikation (z. B. Funkverkehr) zwischen den Simulatoren muss möglich sein.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Schnittstellen zu anderen Simulatoren können bei Bedarf vom Hersteller kundenspezifisch bereitgestellt werden.
- 2 Der Simulator bietet eine Schnittstelle zu anderen Simulatoren desselben Herstellers.
- 3 Der Simulator bietet eine allgemeine Schnittstelle zu anderen Simulatoren nach IEEE1516.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form eine Kopplung mit anderen Simulatoren möglich ist.

i. Audiodaten

Die Notwendigkeit Audiodaten auszutauschen besteht in der Regel im Zusammenhang mit dem Austausch anderer Simulationsobjekte, die Geräusche erzeugen. Auch kann es notwendig werden, Audiodaten auszutauschen, wenn die Qualität der vorhandenen Geräusche nicht zufrieden stellend ist.

Das Format der Audiodaten kann von Hersteller zu Hersteller sehr unterschiedlich sein. Allerdings ist eine Vielzahl von Programmen verfügbar, mit denen Audiodaten in jedem bekannten Format verarbeitet werden können.

Abstufung der Ausprägung

- 1 Der Austausch von Audiodaten ist nur durch den Hersteller möglich.
- 2 Audiodaten können theoretisch ausgetauscht werden. Die vorliegenden Datenformate sind dokumentiert, aber nicht kompatibel.
- 3 Audiodaten können ausgetauscht werden. Die Datenformate sind kompatibel, evtl. unter Verwendung von vorhandener Konvertierungssoftware.

Testverfahren

Die Leistungsbeschreibung bzw. das Handbuch gibt Auskunft, ob und in welcher Form Audiodaten ausgetauscht werden können.

3.6 Prüfverfahren der Fahrdynamik

In Abschnitt 3.2.1 wurden die grundsätzlichen Leistungsmerkmale eines Fahrsimulators in Bezug auf die Fahrdynamik beschrieben, hinsichtlich ihrer Ausprägung klassifiziert und zugehörige Testverfahren vorgeschlagen. Auf dieser Grundlage ist eine erste, im Wesentlichen an qualitativen Kriterien orientierte Prüfung des Simulators möglich, die von jedem Anwender durchgeführt werden kann.

Eine weiterführende Qualitätsprüfung, die auch als Grundlage für einen Zertifizierungsprozess dienen könnte, setzt hydrodynamische Fachkenntnisse voraus. Wesentliches Ziel einer solchen Prüfung, die im Folgenden beschrieben wird, sind Aussagen zur quantitativen Genauigkeit der Simulation.

Wie oben dargelegt, resultiert das Ergebnis der fahrdynamischen Simulation aus zwei Faktoren, nämlich zum einen der Güte des zugrunde liegenden mathematischen Modells, zum anderen der Qualität der fahrdynamisch relevanten Daten. Während die oben beschriebenen Verfahren zur Qualitätsprüfung ausschließlich am Ergebnis der Simulation ansetzen, wird im Folgenden ein zweistufiges Verfahren vorgeschlagen:

Die erste Stufe beinhaltet eine Analyse des mathematischen Modells auf Vollständigkeit, das heißt auf die im Modell berücksichtigten Kräfte und Momente, die auf das Schiff einwirken. Diese Prüfung ist unabhängig von speziellen Schiffstypen, gibt aber Auskunft über die zu erwartende Qualität der Simulationsergebnisse unter der Voraussetzung, dass die in der Datenbank hinterlegten Schiffsdaten den richtigen Input liefern.

Aufbauend auf der ersten Stufe können in einer zweiten Stufe einzelne, definierte Schiffe validiert werden. Dies erfolgt anhand von Standardmanövern. Während das mathematische Modell in der Programmierung des Simulators verankert ist und in der Regel nicht ausgetauscht wird, ist es durchaus denkbar, dass der Hersteller Schiffsmodelle verschiedener Qualitätsstufen liefert: Schiffe, die den Kriterien der ersten Qualitätsprüfung genügen und sich qualitativ richtig verhalten, und validierte Schiffe, deren Fahrdynamik quantitativ, im Rahmen einer vorgegebenen Genauigkeit, überprüft wurde. Dazu gehören beispielsweise ausgewählte Einzelschiffe, deren individuelle Manövriereigenschaften z. B. bei einem reederei-internen Fahrtrainingskurs im Vordergrund stehen.

Für Schiffe, die repräsentativ für bestimmte Schiffstypen in Schulungen verwendet werden sollen, ist es angebracht, dass sie die für Binnenschiffe gesetzlich geregelten Anforderungen der Rheinschiffsuntersuchungsordnung (RheinSchUO) / Binnenschiffsuntersuchungsordnung (BinSchUO) hinsichtlich der Ausweich- und Wendeeigenschaften sowie der Mindestgeschwindigkeit, Stoppeigenschaften und Rückwärtsfahreigenschaften einhalten, grundsätzlich jedoch nicht wesentlich bessere Werte erreicht werden. Dies kann ebenfalls mit den unten beschriebenen Manövern nachgewiesen werden. Diese Schiffe müssen dann keinem konkreten, realen Schiff entsprechen, d. h. die Manöver werden nicht mit den Versuchsdaten von einem Schiff, sondern nur mit den Vorgaben der entsprechenden Vorschriften verglichen.

3.6.1 Allgemeine Definitionen

In diesem Abschnitt wird das folgende schiffsfeste Koordinatensystem verwendet: Die x-y-Ebene fällt mit der Ebene der Schwimmwasserlinie zusammen. Die x-Achse verläuft positiv zum Bug, die y-Achse positiv zur Backbordseite und die z-Achse positiv nach oben. Der Ursprung liegt auf der Mittschiffsebene in der Mitte zwischen den Loten.

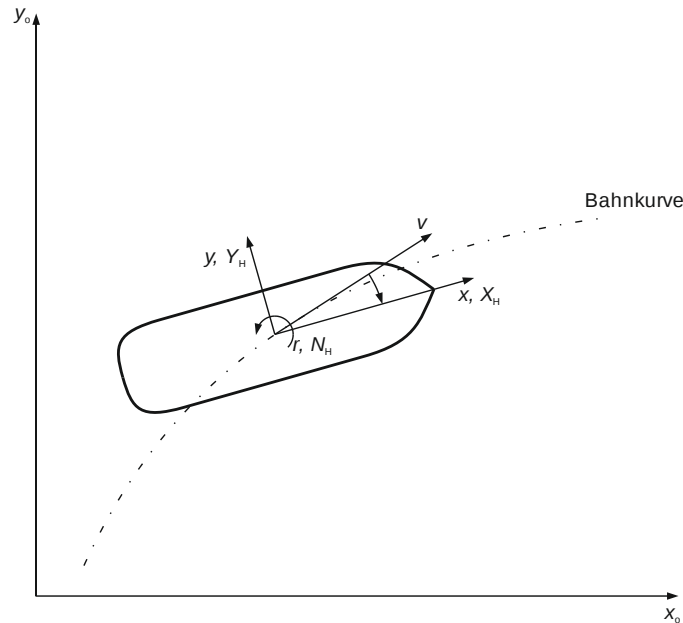


Abb. 3.2 Verwendetes Koordinatensystem: schiffsfeste Koordinaten x,y,z, Längs- und Querkraften X_H und Y_H , Giermoment N_H , Längsgeschwindigkeit v und Drehgeschwindigkeit r aus [4]

In einem erdfesten Koordinatensystem hat der Ursprung des schiffsfesten Koordinatensystems die Koordinaten (x_0, y_0, z_0) . Es fällt im Ruhezustand mit dem schiffsfesten Koordinatensystem (s. Abb. 3.2) zusammen. Die Lage der Schiffes im erdfesten Koordinatensystem wird durch die Winkel (φ, θ, ψ) beschrieben.

3.6.2 Grundgleichungen der Fahrdynamik

Die Bewegungsgleichungen (Impulssatz und Drehimpulssatz) eines starren Körpers bilden die Grundlage der Fahrdynamik von Schiffen:

$$m \cdot \ddot{\vec{x}}_0 = \sum \vec{F}_0$$

$$\frac{d(I_0 \cdot \vec{\omega}_0)}{dt} = \sum \vec{M}_0$$

m ist die Schiffsmasse, $\ddot{\vec{x}}_0$ ist der translatorische Beschleunigungsvektor, $\vec{F}_0$ ist der Vektor der äußeren Kräfte, I_0 ist das Massenträgheitsmoment des Schiffes im erdfesten Koordinatensystem, $\vec{\omega}_0$ ist der rotatorische Geschwindigkeitsvektor, $\vec{M}_0$ ist der Vektor der äußeren Momente.

Zur Lösung der Bewegungsgleichungen werden die äußeren Kräfte und Momente (s. [4]) benötigt. Hierbei handelt es sich um die auf den Rumpf und Anhänge wirkenden hydro- und aerodynamischen Kräfte und Momente sowie weitere äußere Einwirkungen. Sind diese bekannt, so werden die Beschleunigungen ermittelt. Eine ausführliche Beschreibung der Bewegungsgleichungen findet sich in [1].

Durch die zweifache Integration der obigen Gleichungen erhält man die Bewegungen. Hier kommen verschiedene numerische Verfahren zum Einsatz. Im einfachsten Fall erfolgt die zeitliche Integration zweistufig: Zuerst werden die Beschleunigungen integriert, woraus sich die momentanen Geschwindigkeiten ergeben. Diese werden anschließend integriert, was die Position und Lage im erdfesten Koordinatensystem Raum ergibt. In bestimmten Situationen (z. B. bei Schleppmanövern) kann es allerdings vorkommen, dass sich ein steifes Differentialgleichungssystem ergibt, bei dem sich die Genauigkeit der numerischen Lösung wesentlich verbessert, wenn die doppelte Integration in einem Schritt durchgeführt wird. Sofern die verschiedenen Schiffe einer Simulation dynamisch interagieren, sollte das zu lösende Gleichungssystem auch alle Schiffe beschreiben.

Das oben Gesagte gilt grundsätzlich für jede Bewegungssimulation von Festkörpern. Entscheidend für die Genauigkeit der Simulation ist die Genauigkeit der auf das Schiff wirkenden Kräfte und Momente.

Die heute für Manövriersimulationen eingesetzten mathematischen Kraftmodelle lassen sich im Wesentlichen in zwei Gruppen einteilen: Zum einen sind es die sogenannten Regressionsmodelle, in denen die Kräfte und Momente am Schiff durch modifizierte Taylor-Reihen für die kinematischen und geometrischen Größen approximiert werden. Zum anderen sind es die modularen Simulationsalgorithmen, in denen die Kräfte am Rumpf und an den Anhängen sowie weitere äußere Einwirkungen als separate Module betrachtet werden. Eine Darstellung der verschiedenen Kraftmodelle ist bei Oltmann et al. [3] zu finden.

Zwischen beiden Modellen ist keine grundsätzlicher Qualitätsunterschied zu finden. Bei entsprechend sorgfältig erstellter Datenbasis können beide Modelle die gleiche Genauigkeit liefern. Zum Aufbau der Datenbasis werden Modellversuche, Großausführungsversuch oder CFD-Berechnungen durchgeführt.

3.6.3 Fahrdynamische Eigenschaften von Schiffen

Die Fahrdynamik eines Schiffes wird weitestgehend durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

- Propulsionsverhalten bei Geradeausfahrt
- Dynamische Vertrimmung und Absenkung
- Anfahrtsvermögen: Längsbeschleunigung aus dem Stand
- Stoppvermögen: Strecke und Zeit bis zum Stillstand
- Anschwenkvermögen: Fähigkeit zum schnellen Einleiten einer Drehung
- Stützfähigkeit: Fähigkeit zum schnellen Abbremsen einer Drehung
- Drehfähigkeit: Erreichbare Drehgeschwindigkeit, Drehkreisdurchmesser
- Interaktion mit Gewässerbegrenzungen

– Positionieren

Die oben aufgeführten Eigenschaften sind für unterschiedliche Beladungszustände (auch Flüssiglading) und Umgebungsbedingungen (Beschränkung des Fahrwassers, Wind, Strömung, etc.) zu testen. Das zu Grunde liegende mathematische Modell soll derartige Manöver abbilden können. Der Test erfolgt größtenteils mittels sog. Standardmanöver, wobei bei einem Manöver mehrere Eigenschaften gleichzeitig erfasst werden. Das dynamische Positionieren ist eine Fähigkeit, die besonders im Bereich der Offshore-Technik wichtig ist, und spielt in der Binnenschifffahrt keine Rolle.

Für eine vertiefende Prüfung der Fahrdynamik wird das oben bereits skizzierte zweiteilige Prüfverfahren vorgeschlagen.

3.6.4 Prüfung des mathematischen Modells

Zur Überprüfung muss der Simulatorhersteller ein Dokument vorlegen, das die Beschreibung des verwendeten mathematischen Modells enthält. Das mathematische Modell wird analytisch auf Vollständigkeit, d. h. darauf, ob alle auf das Schiff wirkenden Kräfte und Momente darin erfasst sind, geprüft. Die oben aufgeführten fahrdynamischen Eigenschaften eines Schiffes sollen ausreichend genau abgebildet werden können. Der Hersteller hat die Schiffstypen zu spezifizieren, für die der Fahrsimulator eingesetzt werden kann. Das Konzept des mathematischen Modells sollte aber eigentlich unabhängig von Schiffstyp und -größe sein. Die Grundlage dafür sollen die nichtlinearen Starrkörperbewegungsgleichungen für sechs Freiheitsgrade sein (s. 3.6.2).

Die Modelle zur Abbildung der Wechselwirkung zwischen Rumpf, Vortriebs-, Antriebs- und Steuerorganen, Gewässerbegrenzung sowie der Ladungsverschiebung sind zu beschreiben. Der Wechselwirkung mit dem Gewässerboden ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die meisten Untersuchungen zum Manövrierverhalten und die daraus entwickelten Kraftmodelle beschränken sich auf tiefes Wasser.

Außerdem soll der Hersteller darlegen, wie aus den Rohdaten (Modell- oder Großausführungsversuchen, CFD-Berechnungen) die Datenbasis für die Schiffe gewonnen wird. Er soll auch seine internen Validierungsverfahren darstellen. Dadurch lässt sich abschätzen, welche Simulationsgüte für weitere Schiffe, die nicht explizit geprüft werden, erwartet werden kann. Grundsätzlich steht es dem Hersteller frei, mit welchen Referenzdaten er seinen Simulator validiert hat.

3.6.5 Validierung

Sowohl für die interne Validierung durch den Hersteller als auch zur Validierung spezieller Schiffe für den Anwender können die nachfolgend beschriebenen Standardmanöver verwendet werden. Als Referenz können sowohl Modell- als auch Großausführungsversuche und evtl. auch CFD-Berechnungen herangezogen werden.

Bei Seeschiffen liegt ein gewisses Spektrum an Großversuchen grundsätzlich vor. Dabei handelt es sich um Probefahrten, die zum einem der Überprüfung der zwischen Auftraggeber und Werft vertraglich vereinbarten Fahrleistungen dienen, und zum anderen der Erstellung einer standardisierten (IMO) Dokumentation über die Fahr- und Manövriereigenschaften (unter Tiefwasserbedingungen). Dieses Dokument gehört zur Pflichtausrüstung eines jeden Seeschiffes. Ggf. werden bereits in der Designphase eines Neubaus entsprechende Modellversuche durchgeführt.

Bei Binnenschiffen gilt, dass nur die Einhaltung gesetzlich vorgegebener Mindestwerte hinsichtlich einiger Fahr- und Manövriereigenschaften nachzuweisen ist.

Für die Validierung eines in einem Simulator hinterlegten Binnenschiffes bedeutet dies, dass im Regelfall nicht auf Groß- oder Modellversuche zurückgegriffen werden kann, sondern diese erst unter Berücksichtigung der Flachwasserbedingungen (confined conditions) zu planen und durchzuführen sind. Der Umfang an Großversuchen wird dabei ggf. eingeschränkt durch die Gegebenheiten der Wasserstraßen im Einsatzgebiet. Für solche Fälle wäre z. B. eine Kombination aus Groß- und Modellversuchen denkbar.

Einige der nachstehend aufgeführten Versuche sind Standardmanöver für Seeschiffe und werden im Allgemeinen für Binnenschiffe (noch) nicht durchgeführt. Somit liegen in der Regel dafür keine Werte vor, die man nachstehend als Größenordnung nennen könnte.

Zur Validierung werden generell die maximale Abweichung zwischen den Referenzwerten für die Großausführung und den Werten der Simulation für die relevanten Simulationsgrößen verglichen. Dabei darf ein gegebener Grenzwert (z. B. 10%) nicht überschritten werden. Es ist denkbar, verschiedene Qualitätsstufen mit unterschiedlichen Grenzwerten zu definieren.

Während Modellversuche unter sehr kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden können, gibt es eine gewisse Unsicherheit bei der Prognose für die Großausführung. Viele der beim Manövrieren wirksamen Kräfte und Momente sind Reynoldszahl-abhängig. Auch kann es bei bestimmten Manövern zu Beschränkungen durch die Abmessungen der Versuchsanlagen kommen.

Bei Großausführungsversuch treten keine Maßstabeffekte auf, allerdings lassen sich in natürlichen Gewässern nicht alle Randbedingungen genau bestimmen.

Wird die Datenbasis aus CFD-Berechnungen gewonnen, bleibt eine Unsicherheit in der Genauigkeit der Berechnungen, die auch durch die verwendeten numerischen Verfahren bestimmt wird.

Die Validierung sollte sowohl verschiedene Wassertiefen und mindestens zwei Beladungszustände berücksichtigen (bei Frachtschiffen: Ballast- und Entwurfstiefgang).

Zur Bewertung der Genauigkeit der Simulation sind die nachfolgend beschriebenen Manöversimulationen durchzuführen. Die zugehörigen Referenzdaten müssen mit großer Sorgfalt in Großausführungs- oder Modellversuchen ermittelt worden sein. Dies sind letztendlich auch die gleichen Manöver, aus denen die Datenbasis für die Simulation (z. B. die Koeffizientensätze) ermittelt werden.

3.6.5.1 Geradeausfahrt in beschränkten Gewässern

In beschränkten Gewässern, vor allem bei beschränkter Wassertiefe, zeigt das Schiff auch ganz ohne irgendein Steuermanöver ein deutlich anderes Fahrverhalten als im tiefen Wasser. Der Widerstand steigt mit abnehmender Wassertiefe bei gleicher Geschwindigkeit stark an und auch die dynamische Absenkung und der Trimm ändern sich. Durch eine seitliche Begrenzung verstärkt sich diese Wirkung mit enger werdendem Gewässer.

Der hier beschriebene Test ist kein spezielles Manöver, sondern die Wiederholung des regulären Propulsionsversuchs bzw. einer Probefahrt im Flachwasser.

Aus dem Stand wird das Schiff bzw. der Verband stufenweise auf die Dienstgeschwindigkeit oder die mindestvorgeschriebene Geschwindigkeit beschleunigt. Die einzelnen Geschwindigkeitsstufen werden immer solange beibehalten, bis sich eine konstante Geschwindigkeit eingestellt hat. Dabei dürfen sich innerhalb einer Geschwindigkeitsstufe die Gewässerbreite und -tiefe nicht ändern. Der zeitliche Verlauf des Weges, der Geschwindigkeit über Grund, des Trimmwinkels und der Absenkung gegenüber der statischen Schwimmlage werden ermittelt und mit der Referenzmessung verglichen. Die Simulation ist für drei verschiedene Tiefgang-Wassertiefe-Verhältnisse ($T/h < 0,1$ (tiefes Wasser), $T/h \approx 0,5$ und $T/h \approx 0,8$) bei Ballast- und Entwurfstiefgang durchzuführen.

Hinweis: Aus am DST durchgeführten Modellversuchen ist zu erwarten, dass bei Abnahme der Wassertiefe bis hin zu einem Wert von $T/h \approx 0,3$ der Wassertiefeneinfluss auf die Propulsionseigenschaften gering ist. Ab diesem Wert wird er größer, bis ab $T/h > 0,6$ die im Flachwasser erreichbare Geschwindigkeit deutlich kleiner ist als im Tiefwasser bei gleicher Leistung. Abb. 3.3 zeigt ein Beispiel für den Geschwindigkeitsverlust in Abhängigkeit vom Verhältnis des Tiefgangs und der Wassertiefe. Das dynamische Trimmverhalten wird nur wenig durch das Verhältnis T/h beeinflusst. Vielmehr ist es eine Funktion der Tiefenfroudezahl Fr_h . (s. Abb. 3.4).

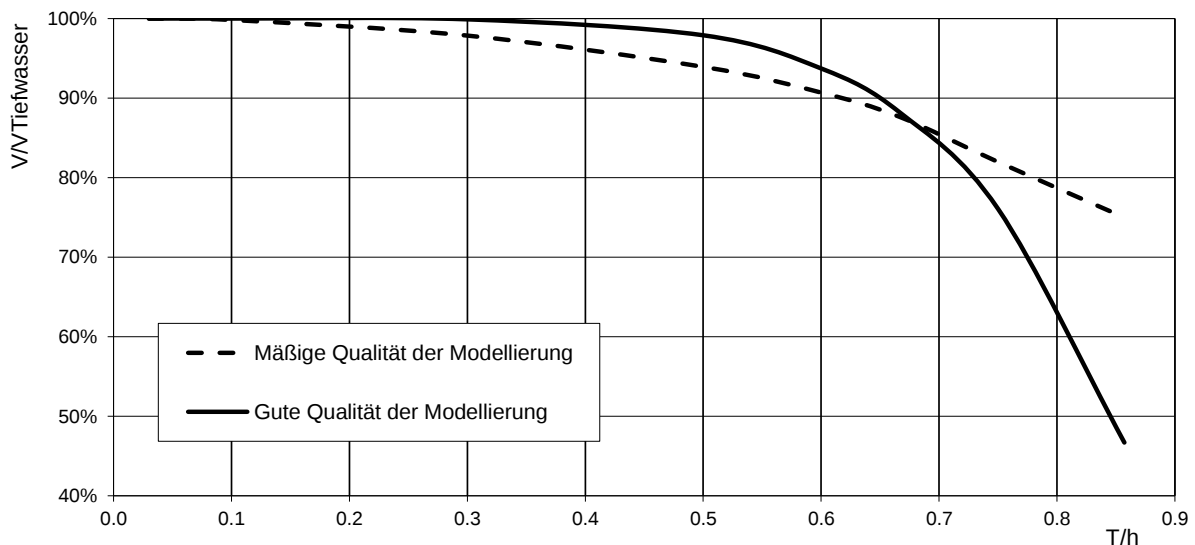


Abb. 3.3 Beispiel für den Schiffsgeschwindigkeitsverlust für verschiedene Verhältnisse des Tiefgangs und der Wassertiefe

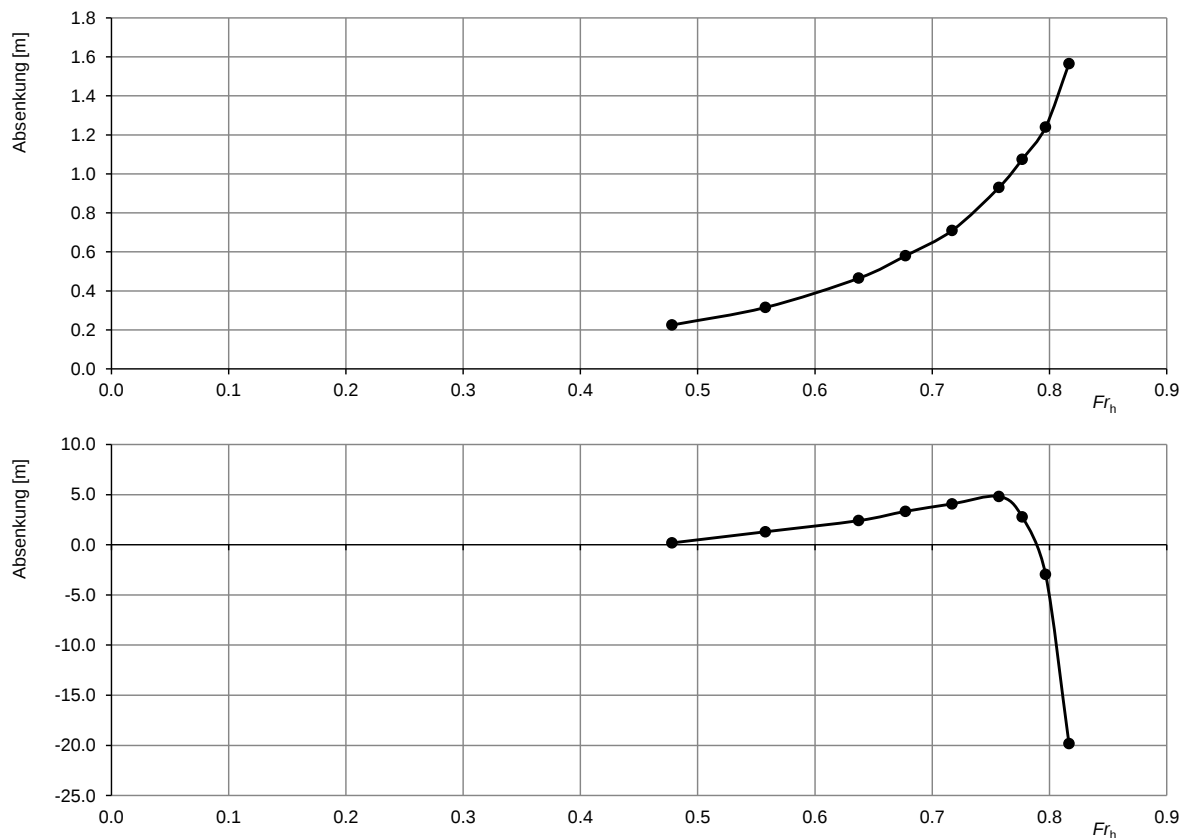


Abb. 3.4 Beispiel für den Verlauf der Absenkung und des Trimmwinkels in Abhängigkeit von der Tiefenfroudezahl

3.6.5.2 Stoppmanöver

Das Stoppmanöver dient dazu, das Stoppvermögen zu testen. Bei Geradeausfahrt mit konstanter Dienstgeschwindigkeit oder mindestvorgeschriebener Geschwindigkeit wird umgesteuert (z. B. bei einem Festpropeller wird die Maschine gestoppt und so schnell wie möglich umgesteuert, im Falle eines Verstellpropellers erfolgt die Umsteuerung über die Propellersteigung). Die Steuerorgane sind so einzustellen, dass sich das Schiff vor Beginn des Stoppmanövers auf geradem Kurs bewegt. Die Simulation endet, wenn das Schiff zum Stehen kommt. Der Längsweg und die Stoppzeit werden berechnet. Die Simulation ist für 3 verschiedene Tiefgang-Wassertiefe-Verhältnisse ($T/h < 0,1$ (tiefes Wasser), $T/h \approx 0,5$ und $T/h \approx 0,8$) bei 2 unterschiedlichen Tiefgängen (z. B. Ballast- und Entwurfstiefgang) durchzuführen.

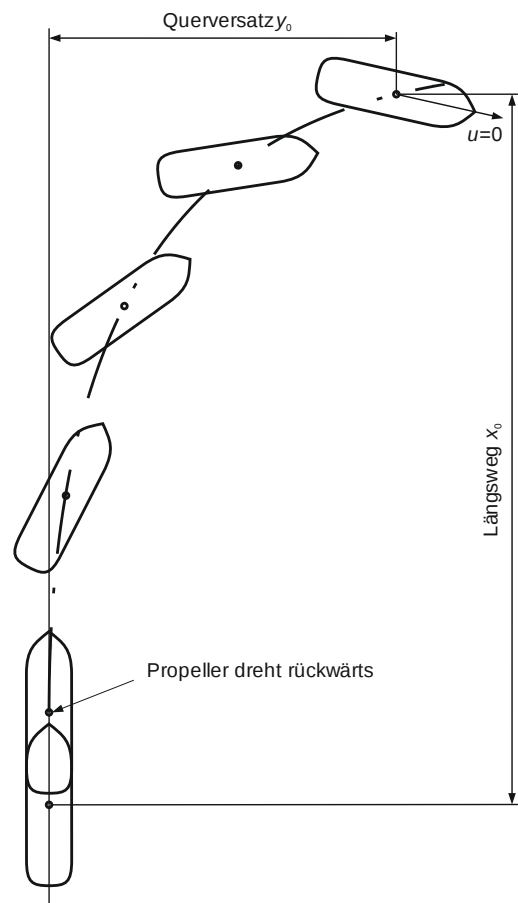


Abb. 3.5 Stoppmanöver: Querversatz y_0 , Längsweg x_0 aus [1]

Hinweis: Bei vielen Schiffen liegt der Stoppweg bei etwa 3 Schiffslängen. Der Querversatz wird gemeinhin bei Binnenschiffen nicht gemessen; somit liegen noch keine Orientierungswerte vor.

3.6.5.3 Z-Manöver

Bei Geradeausfahrt mit konstanter Dienstgeschwindigkeit oder mindestvorgeschriebener Geschwindigkeit wird das Ruder auf einen Winkel $-\delta$ (nach Stb) gelegt und dort gehalten bis der Kurswinkel $+\psi$ beträgt. Dann wird das Ruder auf $+\delta$ gelegt und dort gelassen, bis der Kurswinkel $-\psi$ beträgt. Für die Winkelkombinationen δ und ψ sind $10^\circ/10^\circ$, $20^\circ/20^\circ$ und $20^\circ/10^\circ$ zu wählen. Dabei sind die Anschwenkzeit, die Stützzeit, der Überschwingwinkel und die Ruderlegezeit zu berechnen. Die Simulation ist für 3 verschiedene Tiefgang-Wassertiefe-Verhältnisse ($T/h < 0,1$ (tiefes Wasser), $T/h \approx 0,5$ und $T/h \approx 0,8$) bei 2 unterschiedlichen Tiefgängen (z. B. Ballast- und Entwurfstiefgang) durchzuführen.

Mit dem Z-Manöver werden Anschwenkvermögen und Stützfähigkeit getestet.

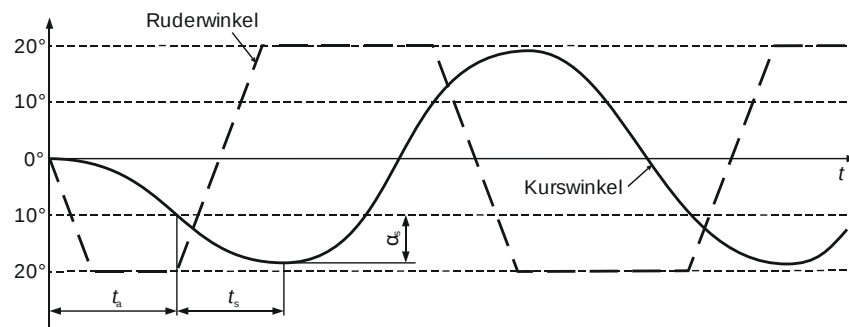


Abb. 3.6 Z-Manöver für 20°/10°: Anschwenkzeit t_a , Stützzeit t_s , Überschwingwinkel α_s aus [1]

Hinweis: Bei Binnenschiffen wird statt des Z-Manövers in der Regel das theoretisch äquivalente R-Manöver gefahren. Somit liegen für Z-Manöver noch keine Orientierungswerte vor.

3.6.5.4 R-Manöver

In der Binnenschiffahrt wird das R-Manöver dem Z-Manöver vorgezogen. Hier wird bei Geradeausfahrt mit konstanter Dienstgeschwindigkeit oder mindestvorgeschriebener Geschwindigkeit das Ruder auf einen Winkel $-\delta$ (nach Stb) gelegt und dort gehalten, bis die Drehrate $+\dot{\psi}$ beträgt. Dann wird das Ruder auf $+\delta$ gelegt und dort gelassen, bis die Drehrate $-\dot{\psi}$ beträgt. Für die Kombinationen δ und $\dot{\psi}$ sind 20/6, 20/8 und 30/8 zu wählen. Dabei sind die Anschwenkzeit, die Stützzeit, der Überschwingwinkel und die Ruderlegezeit zu berechnen. Die Simulation ist für 3 verschiedene Tiefgang-Wassertiefe-Verhältnisse ($T/h < 0,1$ (tiefes Wasser), $T/h \approx 0,5$ und $T/h \approx 0,8$) bei 2 unterschiedlichen Tiefgängen (z. B. Ballast- und Entwurfstiefgang) durchzuführen.

Mit dem R-Manöver werden auch Anschwenkvermögen und Stützfähigkeit getestet.

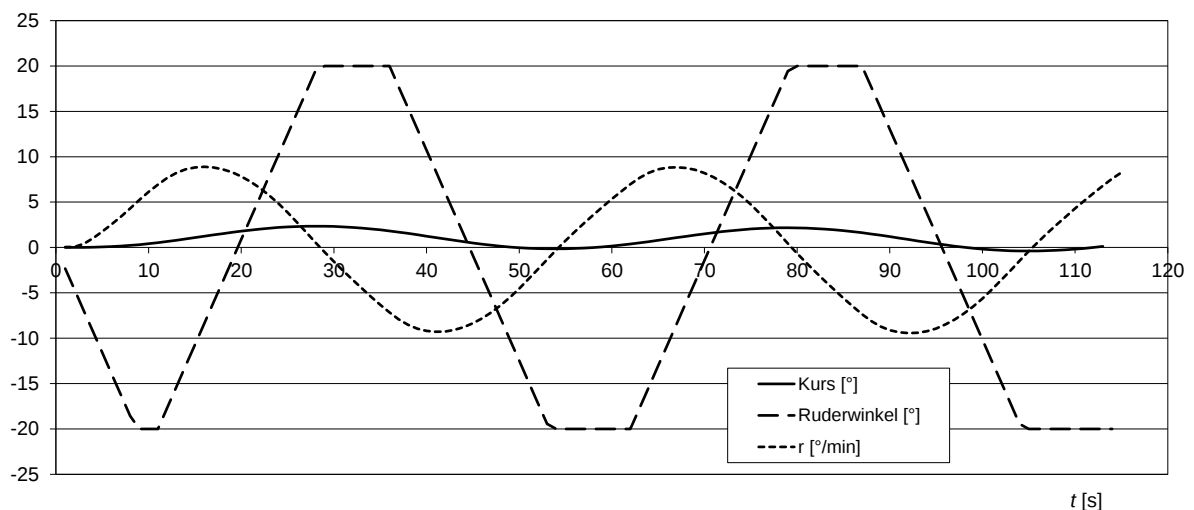


Abb. 3.7 Zeitschrieb eines simulierten R-Manövers für 20°/8°

Hinweis: In der RheinSchUO sind unter „Anforderungen an die Ausweich- und Wendeeigenschaften“ einige Verfahren zur Feststellung der Ruderwirkung beschrieben sowie Mindestwerte ausgewiesen.

3.6.5.5 Drehkreismanöver

Bei Geradeausfahrt mit konstanter Dienstgeschwindigkeit oder mindestvorgeschriebener Geschwindigkeit wird das Ruder in 30 Sekunden auf 60° bei Binnenschiffen und in 15 Sekunden auf 35° bei Seeschiffen gelegt und dort gelassen, bis das Schiff sich um 540° gedreht hat. Der taktische Durchmesser, der Längsweg bei 90° Kursänderung, der Querversatz bei 90° Kursänderung, die Voraus- und Drehgeschwindigkeit sind zu berechnen. Die Simulation ist für 3 verschiedene Tiefgang-Wassertiefe-Verhältnisse ($T/h < 0,1$ (tiefes Wasser), $T/h \approx 0,5$ und $T/h \approx 0,8$) bei 2 unterschiedlichen Tiefgängen (z. B. Ballast- und Entwurfstiefgang) durchzuführen.

Aufgrund der begrenzten Abmessungen der Versuchsbecken oder ggf. der Wasserstraße kann der Drehkreisversuch nicht immer vollständig durchgeführt werden. Die Validierung ist dann für ein Kreissegment vorzunehmen.

Mit dem Drehkreismanöver wird das Drehverhalten getestet.

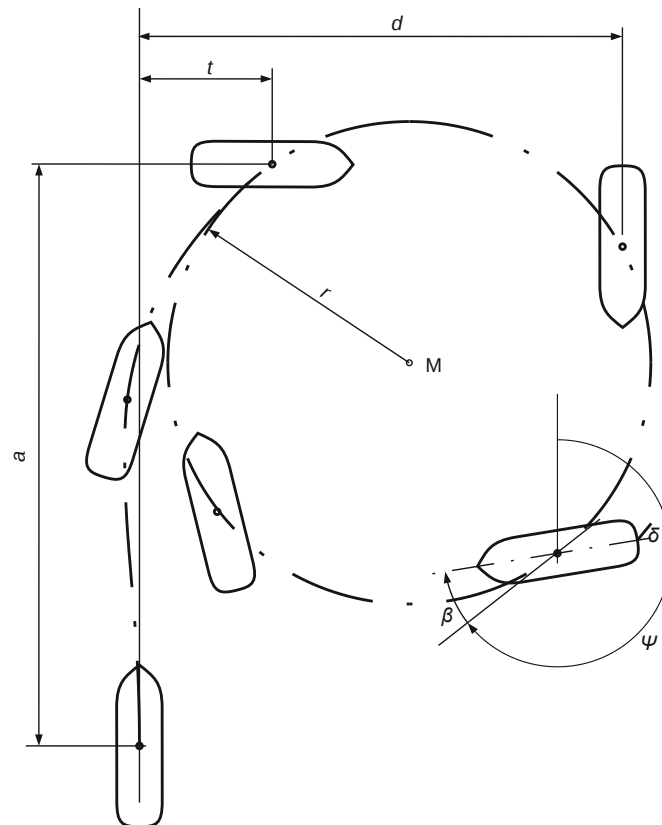


Abb. 3.8 Drehkreismanöver: a Längsweg bei 90° Kursänderung; t Querversatz bei 90° Kursänderung; d taktischer Durchmesser; r stationärer Drehkreisradius; β Driftwinkel; Ψ Kurswinkel; δ Ruderkurswinkel aus [1]

Hinweis: Aufgrund der Gegebenheiten auf Binnenwasserstraßen werden Drehkreismanöver mit Binnenschiffen nicht durchgeführt. Somit liegen noch keine Orientierungswerte vor.

3.6.5.6 Banking-Effekte

Den Einfluss der begrenzten Wassertiefe auf das Propulsionsverhalten und die dynamisch Schwimmage wird durch eine seitliche Begrenzung des Gewässers verstärkt. Zusätzlich werden bei dichter Vorbeifahrt am Ufer v. a. Driftkräfte und Giermomente erzeugt. Zur quantitativen Validierung ist es erforderlich, dass entsprechende Validierungsdaten aus Modell- oder Großausführungsversuchen vorliegen. Derartige Versuche werden im Rahmen der Schiffsentwicklung nicht regelmäßig durchgeführt.

Im Versuch fährt das Schiff oder das Modell in Kanalrichtung mit neutralem Ruderwinkel mit 70% der Dienstgeschwindigkeit oder mindestvorgeschriebener Geschwindigkeit in einem Kanal mit konstanter Wassertiefe. Dabei wird – ausgehend von der Gewässermitte – stufenweise der Abstand zum Ufer verringert. Durch die auf den Rumpf wirkenden Querkräfte und Giermoment wird das Schiff von seiner ursprünglichen Bahn in Kanalrichtung abweichen. Die gemessene Bahn wird mit der Simulation verglichen. Versuche und Simulationen sollten für Tiefgang-Wassertiefe-Verhältnisse ($T/h < 0,1$ (tiefes Wasser), $T/h \approx 0,5$ und $T/h \approx 0,8$) bei 2 unterschiedlichen Tiefgängen (z. B. Ballast- und Entwurfstiefgang) durchgeführt werden.

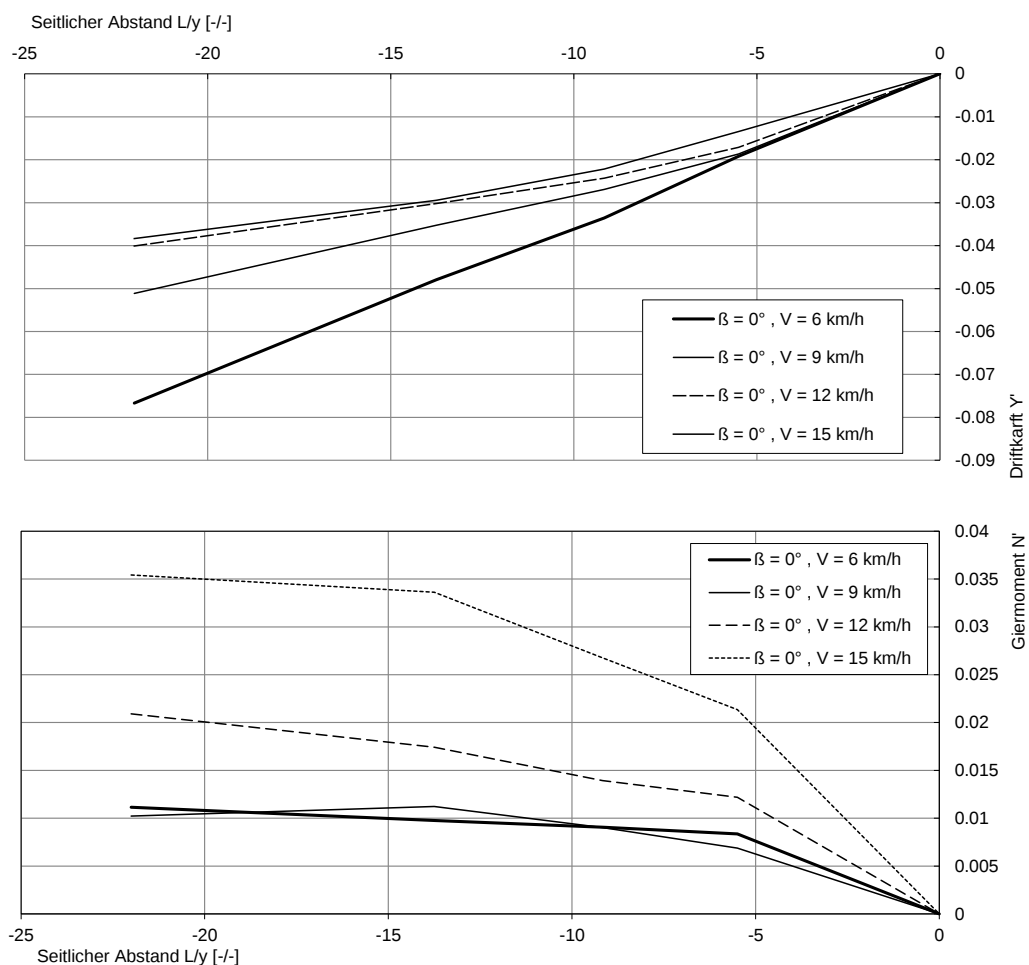


Abb. 3.9 Einfluss des Wandabstands auf die Driftkraft und das Giermoment am Beispiel eines Binnenschiffes

4. Qualitätsanforderungen

4.1 Vorbemerkung

Nachdem in Kapitel 2 die Einsatzbereiche und Einsatzarten und in Kapitel 3 die technischen Aspekte der Simulation (Funktionalitäten) zunächst getrennt behandelt wurden, geht es in diesem Kapitel um eine Zusammenführung dieser Überlegungen. Das Ziel besteht darin, die für die verschiedenen Einsatzarten erforderlichen Leistungsmerkmale und deren als angemessen erachtete Ausprägung bzw. Güte herauszuarbeiten.

In Kapitel 2 wurden die Einsatzarten für SHS-Anlagen im Rahmen von Ausbildungs- und Trainingsmaßnahmen dargelegt, die grundsätzlich als Ergänzung der praktischen Ausbildung an Bord vorstellbar sind, also eine Betrachtung gewählt, die sowohl unabhängig von dem aktuell praktizierten Einsatz als auch von den zurzeit diskutierten bzw. zu erwartenden rechtlichen Regelungen ist.

Die wesentlichen Einsatzarten betreffen, wie oben dargelegt, das Fahrtraining mit unterschiedlichem Schwerpunkt und auf unterschiedlichem Niveau. Verallgemeinert man diese Überlegungen, so kann zwischen acht Varianten unterschieden werden. Diese ergeben sich, wenn nach den Inhalten der Trainingsmaßnahmen zwischen vier Schwerpunkten unterschieden wird, nämlich

- aktives Fahren eines Schiffes ohne Verkehrsbezug, im Folgenden vereinfachend „Steuern und Manövrieren“ genannt,
- aktives Fahren im Verkehr unter Beachtung der Verkehrsregeln, im Folgenden vereinfachend „Fahren im Verkehr“ genannt,
- Streckenfahrt (Navigieren) sowie
- Radarfahrt,

und auf einer zweiten Ebene, die sich auf das Niveau der Ausbildungsinhalte bezieht, danach differenziert, ob

- Grundkenntnisse oder
- vertiefende Kenntnisse

vermittelt werden sollen.

Obwohl unsichtiges Wetter vom Grundsatz her nur eine erschwerte Randbedingung für das Fahren eines Schiffes darstellt, wird die Radarfahrt wegen ihrer Komplexität und sicherheitsrelevanten Bedeutung als gesonderte Einsatzart behandelt.¹⁵ Da Radargeräte heute aber zunehmend bei guten Sichtverhältnissen als Navigationshilfe genutzt werden, wird dieser Aspekt auch bei den anderen Einsatzarten berücksichtigt.

Bei der Vermittlung von Grundkenntnissen wird bezüglich der Ausbildungsinhalte ein Niveau angenommen, das etwa dem Unterricht in berufsbildenden Schulen entspricht; bei der Vermittlung vertiefender Kenntnisse für Fortgeschrittene wird ein Niveau unterstellt, das letztlich zu einem eigenverantwortlichen Führen eines Schiffes befähigen soll.

¹⁵ Diese Sonderstellung kommt auch in der heutigen Rechtslage zum Ausdruck, die ein eigenes Radarpatent vorsieht.

Die vorgenannten acht Einsatzvarianten stehen bei den weiteren Überlegungen in diesem Kapitel im Vordergrund. Hinzu kommen reedereispezifische Schulungen. Da diese weiterführenden Trainingsmaßnahmen für Patentinhaber/Schiffsführer sich an firmeninternen Erfordernissen ausrichten, die einer allgemeinen Betrachtung nicht zugänglich sind, können die daraus resultierenden Anforderungen an den Simulator nur für den jeweiligen Bedarfsfall formuliert werden und werden deshalb im Folgenden nicht näher betrachtet. Wohl aber ist davon auszugehen, dass sich hier in den jeweils relevanten Teilbereichen in der Regel ein höheres Anforderungsniveau ergibt als bei den anderen hier betrachteten Varianten eines Fahrtrainings.

Nicht erneut aufgegriffen werden die Einsatzbereiche „Demonstration“ (A1) und „Gerätekunde“ (A2). Dies erscheint insofern gerechtfertigt, als es sich hierbei um keine originären Nutzungen eines Fahrsimulators handelt, die aus diesen zusätzlichen Nutzungsmöglichkeiten resultierenden Anforderungen mithin also zumindest keinen wesentlichen Einfluss auf die Konzeption von Schiffsführungssimulatoren haben dürften.

Außerdem wird vorausgesetzt, dass Simulatoren, die für die Vermittlung bestimmter Ausbildungsinhalte eingesetzt werden, grundsätzlich auch für entsprechende Prüfungen geeignet sind, sodass dieser Aspekt ebenfalls bei den weiteren Betrachtungen außen vor bleiben kann.

In Kapitel 3 stand die Beschreibung der technischen Bereiche eines Fahrsimulators im Vordergrund, die auf der ersten Ebene wie folgt unterschieden wurden:

- Konzeption und Ausstattung
- Simulationskern
- Ausgabesysteme
- Datenbanken
- weitere Ausstattungsmerkmale.

Diese funktionalen Bereiche, die sich selbst wiederum aus verschiedenen Komponenten zusammensetzen, wurden weiter heruntergebrochen, um letztlich zu den Leistungsmerkmalen zu gelangen, die über die Leistungsfähigkeit der Simulationsanlage entscheiden. Jedes Leistungsmerkmal wurde zunächst erläutert, um darauf aufbauend eine dreistufige Klassifikation vorzunehmen, je nachdem ob die Ausprägung geringen, mittleren oder hohen Ansprüchen genügt. Auf diese Ausführungen kann also Bezug genommen werden, wenn im Folgenden die Frage zu beantworten ist, welche Leistungsmerkmale für die hier betrachteten Einsatzarten erforderlich sind und welche Ausprägung hinsichtlich der Qualität angemessen erscheint.

Der Umfang der Datenbanken bezüglich der hinterlegten Schiffsmodelle und Fahrtgebiete wird nicht als Leistungsmerkmal im eigentlichen Sinne verstanden, da hiervon lediglich die Auswahlmöglichkeiten für die Trainingsprogramme abhängen, nicht aber die technische Qualität der Simulation.

4.2 Differenzierung nach Einsatzarten

Im Folgenden werden die ermittelten Anforderungen – differenziert nach den betrachteten Einsatzarten – erläutert. Die Kommentare beschränken sich dabei auf die wesentlichen Aspekte, die für eine bestimmte Einsatzart von besonderer Bedeutung sind. In der Zuord-

nungstabelle (4.2.5 Bewertungsmatrix), die eine umfassende Übersicht über die ermittelten Ergebnisse gibt, sind die jeweils wesentlichen technischen Aspekte durch Fettdruck hervorgehoben.

4.2.1 Steuern und Manövrieren

Bei dieser Einsatzart steht das Erlernen des fahrtechnischen Handlings von Schiffen im Vordergrund. Das zentrale Lernziel besteht in der Fähigkeit, Maschine und Ruder unter Nutzung der an Bord befindlichen Navigationsgeräte (diese umfassen heute üblicherweise auch Echolot, Radar, ECDIS) situationsgerecht einzusetzen. Dabei ist vor allem der Einfluss des Ladungsgewichtes, der Strömung, von Flachwasser- und Bankingeffekten sowie von Wind auf das Reaktionsverhalten des Schiffes richtig einzuschätzen.

Bei Trainingsprogrammen der Kategorie G – dies gilt für alle betrachteten Einsatzarten – geht es um die Vermittlung von Grundkenntnissen unter einfachen Randbedingungen. Dies bedeutet in diesem Fall vor allem eine Übung mit Einrumpfschiffen mit klassischer Ausrüstung hinsichtlich Antriebs- und Rudersystemen, einfache hydrodynamische Randbedingungen bezüglich Strömung, Wasserstand und seitlicher Begrenzung, allenfalls geringer Windeinfluss sowie gute Sicht- und Wetterbedingungen.

Sofern sich die Schulung an Fortgeschrittene (Kategorie F) richtet – auch dies gilt für alle betrachteten Einsatzarten –, geht es zum einen um eine Vertiefung der Inhalte, zum anderen um Erweiterungen und erschwerte Randbedingungen. Letztere können sich in dem hier betrachteten Kontext beziehen auf spezielle Schiffstypen, gegebenenfalls mit alternativen Antriebssystemen (z. B. Voith-Schneider Ruderpropeller) oder besonderer Schiffs-einrichtung (z. B. Hubbrücke), die Durchführung spezieller Manöver, z. B. Schleusen, Einsatz von Anker und Leinen oder Notmanöver (etwa beim Ausfall von Ruder oder Maschine), erschwerte hydrodynamische Randbedingungen bezüglich Strömung, Wasserstand und seitlicher Begrenzung, enges Fahrwasser, stärkeren Windeinfluss sowie schlechte Sicht- und Wetterbedingungen.

Anforderungen an die Simulationstechnik

Für diese Einsatzart reicht ein Fahrstand, der mit den erforderlichen Navigationsgeräten ausgestattet ist.

Entscheidende Voraussetzung zum Erlernen des fahrtechnischen Handlings ist, dass das Fahrverhalten am Simulator dem tatsächlichen Schiffsverhalten entspricht. Daher steht hier die Qualität der Fahrdynamik der Eigenschiffe im Vordergrund. Neben den allgemeinen Leistungsmerkmalen (Freiheitsgrade, Vortriebsanlage und Steuerorgane) kommt der Simulation spezieller Effekte eine besondere Bedeutung zu. Dies betrifft hier vor allem die Leistungsmerkmale Flachwassereinfluss, Strömungseinfluss, Windeinfluss, Bankingeffekte sowie Squat. Da bei der Simulation auf die fahrdynamisch relevanten Schiffsdaten zurückgegriffen wird, ist dies zugleich verbunden mit entsprechenden Anforderungen an die Qualität der Schiffsdatenbank.

Grundsätzlich muss bei allen Einsatzarten – sofern Radar als zusätzliche Navigationshilfe genutzt und trainiert werden soll – die Übereinstimmung von optischer und radartechnischer Sicht sowie der ECDIS-Darstellung gegeben sein, was mit entsprechenden Anforderungen an das Radarsystem und die Radarsichtdatenbank verbunden ist.

Für die Breite der Ausbildung ist von Bedeutung, inwieweit am Simulator auf unterschiedliche Schiffstypen und -abmessungen, auf Schiffe mit unterschiedlichen Antriebs- und Steuerorganen sowie auf verschiedene Beladungszustände und gegebenenfalls Beladungsarten zurückgegriffen werden kann. Damit angesprochen ist der Umfang an Schiffsmodellen, die in der fahrdynamischen Sichtdatenbank hinterlegt sind und die über die Trainingsmöglichkeiten entscheiden.

Dies gilt in ähnlicher Weise für weitere Randbedingungen der Fahrt (insbesondere Strömung, Wind, Sichtverhältnisse, Wetter etc.). Auch hier kommt es auf die Variationsmöglichkeiten an, um umfassende Übungsszenarien generieren zu können. Damit angesprochen sind zum einen die fahrdynamisch relevante Datenbank Gewässer, zum anderen die Variationsmöglichkeiten der Wetterbedingungen.

Für Trainingsprogramme der Kategorie G erscheinen bezüglich der Simulation der Fahrdynamik geringe bis mittlere Anforderungen angemessen, auch dürfte hier eine begrenzte Anzahl an Schiffsmodellen und Übungsszenarien ausreichend sein.

Zum Teil deutlich höhere Anforderungen sind in der Kategorie F zu stellen. Dies betrifft zum einen die Ansprüche an die fahrdynamische Simulation, insbesondere die Berücksichtigung der Einflüsse von Flachwasser, Wind, Bankingeffekten und Squat. Aber auch zum Training besonderer Manöver (z. B. Einsatz von Anker und Leinen) oder zum Umgang mit einer Hubbrücke ergeben sich hier erweiterte Anforderungen. Zum anderen betrifft dies den Umfang der verfügbaren Schiffsmodelle und die Variabilität der oben genannten Randbedingungen, die ein breites Trainingsspektrum ermöglichen sollten.

4.2.2 Fahren im Verkehr

Bei dieser Einsatzart wird vorausgesetzt, dass die Probanden das fahrtechnische Handling (Steuern und Manövrieren) beherrschen und über theoretische Grundkenntnisse der Verkehrs- und Kommunikationsregeln verfügen. Das primäre Lernziel besteht in der Fähigkeit zu einem vorausschauenden, der Verkehrssituation angepassten Handeln durch Auswertung vorhandener Informationen und unter Nutzung der verfügbaren Kommunikationsmittel. Im Einzelnen erfordert dies, dass der Proband insbesondere lernt,

- den von seinem Schiff sowie von anderen Schiffen beim Begegnen und Überholen voraussichtlich beanspruchten Verkehrsraum (Fahrspur) zu antizipieren,
- die dabei auftretenden Interaktionseffekte vor allem zwischen den Schiffen, aber auch gegebenenfalls zwischen Schiff und Wasserstraße, richtig einzuschätzen,
- sich regelkonform zu verhalten,
- sich mit den anderen Verkehrsteilnehmern abzustimmen und seine Absichten klar zu signalisieren,
- die verfügbaren Kommunikationsgeräte zu bedienen und richtig einzusetzen,
- Verkehrssituationen mit Hilfe des Radargerätes zu erfassen und
- Fremdschiffe in der Nachtfahrt anhand der Lichterführung zu erkennen.

Zur Erlangung von Grundkenntnissen (Kategorie G) ist dabei wiederum von einfachen Randbedingungen auszugehen, hier also von einer mäßigen Verkehrsdichte und ausreichendem Verkehrsraum. Außerdem ist auf regelkonformes Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer abzustellen.

Trainingsprogramme für Fortgeschrittene (Kategorie F) zeichnen sich neben einer Vertiefung der Inhalte in diesem Zusammenhang von allem aus durch eine höhere Verkehrsdichte und begrenzten Verkehrsraum einschließlich der Kanalfahrt. Aber auch das Ausführen von Notmanövern im Verkehr oder nicht regelkonformes Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer kommen hier als zusätzliche Kerninhalte in Frage.

Anforderungen an die Simulationstechnik

Da bei dieser Einsatzart der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern eine wichtige Rolle zukommt, setzt dies nicht nur eine entsprechende Ausstattung des Fahrstandes voraus, sondern es muss darüber hinaus sichergestellt sein, dass in die Simulation mindestens ein zweites Schiff eingebunden ist, mit dem der Proband in Kontakt treten kann. Idealerweise existiert hierzu mindestens ein zweiter Fahrstand, sodass interaktives Fahren unter Einschluss von zwei oder mehr Probanden geübt werden kann. Es ist jedoch auch denkbar, dass die Rolle des oder der anderen Verkehrsteilnehmer vom Instruktor übernommen wird. Zudem ist der Instruktor in die Kommunikation mit Landstationen eingebunden. Die Einbindung des Instructors setzt eine entsprechende Einrichtung der Instruktorstation voraus.

Neben den grundsätzlichen Anforderungen an die Hardware-Ausstattung kommt auch bei dieser Einsatzart der Simulation der Fahrdynamik eine entscheidende Bedeutung zu. Und zwar steht jetzt das Verhalten der Schiffe beim Begegnen und Überholen im Vordergrund, sodass hier die Simulation der Interaktionseffekte zwischen den beteiligten Schiffen besondere Beachtung verdient. Dabei müssen zugleich die Interaktionseffekte mit der Wasserstraße (vor allem Strömung, Kanalfahrt), aber auch der Windeinfluss in ihrem Zusammenspiel beachtet werden.

Um die erforderlichen Verkehrsszenarien generieren zu können, bedarf es sowohl einer hinreichenden Anzahl von Verkehrsschiffen als auch eines geeigneten Trainingsgebietes. Vorstellbar ist ein virtuelles Übungsgebiet, das zum einen die für die europäischen Wasserstraßen typischen Konstellationen (Verlauf, Querschnitte, Anlegestellen, Schleusen, variable Pegelstände etc.) abdeckt, zum anderen die typischen Markierungen der Fahrrinne (z. B. Betonung), nautisch relevante Beschilderungen, Pegel, Orientierungsobjekte etc. umfasst. Dies ist mit entsprechenden Anforderungen an die Sichtdatenbank – hier mit Bezug auf das Geländemodell – verbunden.

Aber auch bezüglich der Darstellung der Fremdschiffe ist die Sichtdatenbank von Bedeutung, insbesondere bezüglich der Abbildung der Tagessignale und Lichterführung in der Nachtfahrt.

Schließlich sei darauf hingewiesen, dass gerade für eine nachträgliche Analyse des Verhaltens der Probanden in bestimmten Verkehrssituationen die Möglichkeit zum Aufzeichnen und zur Wiedergabe der Simulation einschließlich der Möglichkeit zur Wiederaufnahme der Übung an beliebigen Stellen gegeben und hierzu geeignete Räumlichkeiten (Debriefingstation) vorhanden sein sollten.

In der Kategorie G erscheint es ausreichend, wenn nur ein Fahrstand zur Verfügung steht und Fremdschiffe über den Instruktor betreut werden. Interaktionseffekte sollten zumindest in grober Form berücksichtigt sein. Bezüglich der Sichtdatenbanken (Schiffe und Gelände) erscheint ein mittleres Niveau angemessen.

Für Trainingsprogramm der Kategorie F sollten mindestens zwei Fahrstände vorhanden sein, sodass ein interaktives Fahren und Kommunizieren der Probanden möglich ist. Generell ist von deutlich höheren Ansprüchen an die Fahrdynamik, insbesondere bezüglich der Interaktionseffekte, auszugehen, um Überhol- und Begegnungsmanöver auch bei begrenzter Verkehrsfläche, das heißt bei geringen Abständen, realistisch simulieren zu können. Gleiches gilt vor allem für den Einfluss von Wind und Strömung. Zudem sollte über die Sichtdatenbank ein umfassendes virtuelles Trainingsgebiet verfügbar sein.

4.2.3 Streckenfahrt/Navigieren

Vom Grundsatz her stimmt das Lernziel überein mit der Einsatzart „Fahren im Verkehr“, jetzt aber liegt der Schwerpunkt in der Beachtung streckenspezifischer Besonderheiten. Vor allem geht es darum, dass der Proband Kenntnisse erwirbt

- zur Position (km) markanter, nautisch relevanter Orientierungspunkte (z. B. Brücken), besonders gefährlicher Untiefen und Stromschnellen, von Ankergründen, Anlegestellen, Hafenzufahrten, Einmündungen/Verbindungen zu anderen Wasserstraßen, Schleusen, Engpässen sowie von Stellen, die besonders zum Wenden geeignet sind,
- zu möglichen Fahrbereichen im Querschnitt der Wasserstraße bei unterschiedlichen Pegelständen sowie
- der streckenspezifischen Fahr- und Kommunikationsregeln.

Diese speziellen Kenntnisse sollen dem Probanden eine den Streckenverhältnissen angepasste Wahl von Fahrspur und Geschwindigkeit sowie eine dem Fahrtgebiet entsprechende Kommunikation ermöglichen.

Bei Trainingsprogrammen, die auf die Vermittlung von Grundkenntnissen (Kategorie G) ausgerichtet sind, ist von entsprechend einfachen Randbedingungen auszugehen, das heißt in diesem Zusammenhang insbesondere von normalen Wasserständen. Kurse auf fortgeschrittenem Niveau (Kategorie F) umfassen dagegen auch erschwerte Randbedingungen, hier also insbesondere Extremwasserstände, aber auch Übungen für extreme Situationen wie z. B. eingeschränkte Manövrierfähigkeit sind hier zu nennen.

Anforderungen an die Simulationstechnik

Die Anforderungen, die bei der Einsatzart „Fahren im Verkehr“ formuliert wurden, bleiben als Grundlage erhalten, sind aber in einigen Aspekten zu erweitern, da nun streckenspezifische Besonderheiten im Vordergrund stehen.

Die zusätzlichen Anforderungen betreffen im Wesentlichen das Trainingsgebiet, das nun die realen Gegebenheiten in angemessener Form abbilden muss. Für die optische wie auch für die Radarsicht bedeutet dies, dass eine leichte Wiedererkennung durch streckenkundige Personen möglich ist. Zudem müssen nautische Zeichen, Beschilderungen, Orientierungsobjekte etc. genau positioniert sein. Damit angesprochen sind die Ansprüche an das Sichtsystem im Allgemeinen, vor allem aber an die Sichtdatenbank bezüglich des Geländemodells sowie an die Radarsichtdatenbank.

In gleicher Weise müssen aber auch die Unterwassertopographie gemäß ECDIS sowie die örtlichen Strömungsverhältnisse – jeweils unter Beachtung der eingestellten Pegel-

stände – die realen Bedingungen hinreichend genau wiedergeben. Dies betrifft die Ansprüche an die fahrdynamisch relevante Gewässerdatenbank, insbesondere bezüglich der Leistungsmerkmale Wassertiefe und Strömung.

Im Hinblick auf die zusätzlichen Anforderungen sind die Unterschiede zwischen den Kategorien G und F eher marginaler Natur und zeigen sich vor allem in den teilweise abweichenden Ansprüchen an die angesprochenen Datenbanken.

4.2.4 Radarfahrt

Bei der Radarfahrt, die hier als eigenständige Einsatzart behandelt werden soll, besteht das Lernziel in der Befähigung zu einer sachgerechten Nutzung des Radargerätes. Dies kann zum einen darauf gerichtet sein, das Radargerät auch bei guten Sichtverhältnissen als ergänzendes Navigationsmittel einzusetzen; zum anderen kann die Nutzung des Radargerätes bei unsichtigem Wetter (z. B. Nebel) oder in der Nachtfahrt die fehlende optische Sicht ersetzen. Im Einzelnen dienen die Schulungen insbesondere dazu, die Bedienung des Radargerätes zu erlernen, Radarbilder auszuwerten und zu interpretieren und die so gewonnenen Informationen für ein situationsgerechtes Fahrverhalten zu nutzen.

In den Grundkursen (Kategorie G) geht es primär darum, mit der Bedienung des Radargerätes vertraut zu machen und die Interpretation der Radarbilder – auch durch Abgleich mit der optischen Sicht am Sichtsystem des Simulators – zu erlernen, um Radargeräte als zusätzliche Navigationshilfe sachgerecht einsetzen zu können.

Bei Trainingsprogrammen für Fortgeschrittene¹⁶ (Kategorie F) geht es zusätzlich darum, vertiefend die Grenzen und Risiken der Radardarstellung, insbesondere aufgrund von Abschattungen und Störechos, zu erkennen, um auch bei fehlender optischer Sicht eine sichere Schiffsführung zu gewährleisten.

Anforderungen an die Simulationstechnik

Für diese Einsatzart muss zunächst vorausgesetzt werden, dass die eingesetzten Radargeräte hinsichtlich der Bedien- und Anzeigenelemente sowie der Einstellungsoptionen zugelassenen Geräten entsprechen und in der Lage sind, das Umfeld im eingestellten Sichtbereich radartypisch darzustellen (z. B. Leuchtschleppen bei Schiffen in Fahrt). Hinsichtlich des darzustellenden Umfeldes müssen die Übungsgebiete als radarlesbare Datenbanken in angemessener Detaillierung hinterlegt sein. Abschattungen und Störechos müssen berücksichtigt sein. Neben den Anforderungen an die Geräte betrifft dies also im Wesentlichen Ansprüche an die Radarsimulation sowie an die Radarsichtdatenbank.

Während für Trainingsprogramme der Kategorie G in den vorgenannten Bereichen eine mittlere Qualität ausreichend erscheint, ist aus Sicherheitsgründen für die Kategorie F ein hohes Qualitätsniveau zu fordern.

4.2.5 Bewertungsmatrix

Eine zusammenfassende Übersicht der ermittelten Ergebnisse gibt die nachfolgende Bewertungsmatrix, die in der Kopfzeile die verschiedenen Einsatzarten und in der Kopfspalte

¹⁶ Hier entspricht das Niveau (mindestens) den Anforderungen der heutigen Radarpatentprüfung.

die den Simulator charakterisierenden Leistungsmerkmale ausweist. Sofern ein Leistungsmerkmal für eine bestimmte Einsatzart relevant ist, kann dem entsprechenden Feld der Matrix die jeweilige Qualitätsanforderung (1, 2, 3) entnommen werden oder – wenn für eine eindeutige Zuordnung die konkreten Umstände bekannt sein müssen – der Hinweis „nach Bedarf“ (n.B.); ansonsten findet sich die Angabe „nicht relevant“ (n.r.), wenn, bezogen auf eine Einsatzart, ein Leistungsmerkmal nicht von Bedeutung ist.

Gewonnen wurden die Ergebnisse in der Weise, dass zunächst vom bearbeitenden DST aufgrund von Recherchen und eigenen Erfahrungen Vorschläge erarbeitet wurden, die dann dem projektbegleitenden Ausschuss zur Beratung vorgelegt wurden. Ausgewiesen sind die nach Abstimmung im projektbegleitenden Ausschuss ermittelten Anforderungen.

Die ausgewiesenen Ergebnisse sind zu verstehen als eine von Experten erarbeitete Empfehlung, die sich auf Anforderungen bezieht, die im Normalfall als angemessen angesehen werden. Bei einem Rückgriff auf diese Empfehlungen sollte deshalb geprüft werden, ob aufgrund der konkreten Bedingungen Besonderheiten vorliegen, die eine Anpassung bzw. Spezifizierung erforderlich machen. Dies gilt auch deshalb, weil die gewählten Qualitätsabstufungen teilweise definitorischen Charakter aufweisen und auch innerhalb der einzelnen Klassen unterschiedliche Ausprägungen möglich sind.

Weiter ist zu beachten, dass mit der Auflistung der herausgestellten Leistungsmerkmale versucht wurde, ein möglichst umfassendes Spektrum an Lernzielen abzudecken. Im konkreten Fall können die Lernziele jedoch durchaus enger gefasst sein, sodass es möglich ist, dass bestimmten Leistungsmerkmalen, die in der Tabelle aufgeführt sind, keine Bedeutung zukommt. So macht beispielsweise das Leistungsmerkmal Hubbrücke (3.2.1p) nur dann Sinn, wenn auch ein entsprechendes Trainingsprogramm vorgesehen ist, ansonsten kann dieser Aspekt bei der Bewertung außen vor bleiben. Allerdings kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass aufgrund spezieller Lernziele, vor allem im Zusammenhang mit reedereispezifischen Schulungen, höhere Anforderungen zu stellen sind als in der Bewertungsmatrix ausgewiesen, gegebenenfalls sogar zusätzliche Leistungsmerkmale eine Rolle spielen.

Technische Bereiche	Seite	Einsatzarten							
		Steuern, Manövrieren		Fahren im Verkehr		Navigieren / Streckenfahrt		Radarfahrt	
		G	F	G	F	G	F	G	F
3.1.1 Räumliche Gestaltung									
<i>Stationen</i>									
a. Fahrstände	36	1	2	1	2	1	2	1	2
b. Instruktorstation	36	1	2	2	3	2	3	1	2
c. Briefing / Debriefingstation	37	1	1	2	3	2	3	1	3
3.1.2 Ausstattung									
<i>Fahrstände</i>	38	2	2	2	2	2	2	2	2
3.2 Simulationskern									
3.2.1 Fahrdynamik Eigenschiff									
a. Freiheitsgrade	41	2	3	2	3	2	3	1	2
b. Vor- und Antriebsanlagen	43	1	3	1	3	1	3	1	2
c. Steuerorgane	44	1	3	2	3	2	3	1	2
d. Flachwassereinfluss	45	2	3	2	3	2	3	2	2
e. Strömungseinfluss	46	2	2	2	2	2	2	1	2

Technische Bereiche	Seite	Einsatzarten							
		Steuern, Manövrieren		Fahren im Verkehr		Navigieren / Streckenfahrt		Radarfahrt	
		G	F	G	F	G	F	G	F
<i>f. Windeinfluss</i>	48	1	3	1	3	1	3	1	2
<i>g. Banking Effekt</i>	49	1	2	1	2	1	2	1	1
<i>h. Interaktion Schiff-Schiff</i>	51	n.r.	n.r.	1	2	1	2	1	1
<i>i. Squat</i>	53	1	2	1	2	1	2	1	1
<i>j. Kanaleffekt</i>	54	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>k. Schleusenfahrt</i>	55	2	2	2	2	2	2	n.r.	n.r.
<i>l. Grundberührung</i>	56	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>m. Kollision Schiff-Land</i>	57	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>n. Kollision Schiff - Schiff</i>	58	n.r.	n.r.	1	2	1	2	1	2
<i>o. Kollision Schiff-Brücke</i>	59	1	2	1	2	1	2	1	1
<i>p. Hubbrücke</i>	60	1	2	1	2	1	2	1	1
<i>q. Leinenfunktion</i>	62	1	2	1	1	1	1	n.r.	n.r.
<i>r. Ankerfunktion</i>	63	1	2	1	2	1	2	n.r.	n.r.
<i>s. Schleppfunktion</i>	64	1	2	1	2	1	2	n.r.	n.r.
3.2.2 Verkehrsschiff									
<i>a. Anzahl</i>	66	n.r.	n.r.	1	2	1	2	1	2
<i>b. Steuerung</i>	68	n.r.	n.r.	1	2	1	2	1	2
<i>c. Bewegungsverhalten</i>	69	n.r.	n.r.	1	2	2	2	2	2
<i>d. Windeinfluss</i>	70	n.r.	n.r.	2	2	2	2	1	1
<i>e. Strömungseinfluss</i>	71	n.r.	n.r.	2	2	2	2	1	2
3.3 Ausgabesysteme									
3.3.1 Sichtsystem									
<i>a. Bildausschnitt und -größe</i>	73	2	3	2	3	2	3	2	2
<i>b. Auflösung und Bildrate</i>	74	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>c. Detaillierung und Darstellungsqualität</i>	75	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>d. Wasseroberfläche</i>	76	1	2	2	2	2	2	1	2
<i>e. Sonne, Mond, Himmelskörper</i>	77	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>f. Wetter</i>	78	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>g. zusammengesetzte Darstellung</i>	78	1	2	2	2	2	2	1	1
3.3.2 Audio-System									
<i>a. Umgebungsgeräusche</i>	81	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>b. Einzelne Schallquellen</i>	82	2	2	1	2	2	2	2	3
<i>c. Akustische Signal von Brückengeräten</i>	83	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>d. Mithören</i>	83	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>e. Aufzeichnung</i>	84	2	2	2	3	2	3	2	3
3.3.3 Radar									
<i>a. Winkeltreue</i>	86	1	1	1	2	1	2	1	3
<i>b. Auflösung</i>	86	1	2	2	3	2	3	2	3
<i>c. Abschattungen</i>	87	1	2	2	2	2	2	2	3
<i>d. Störechos</i>	88	1	2	2	2	2	2	2	3
<i>e. Falschechos</i>	89	1	2	2	2	2	2	2	3
3.4 Datenbanken									
3.4.1.2 Gewässerdatenbank									
<i>a. Wassertiefe</i>	92	1	2	2	3	2	3	1	1
<i>b. Strömung</i>	94	1	2	2	2	3	3	1	1
<i>c. Gezeiten</i>	95	1	2	1	2	1	2	1	1
<i>d. Wind</i>	96	1	2	2	3	2	3	1	1
3.4.2 Sichtdatenbank									
3.4.2.1 Feststehende Objekte									

Technische Bereiche	Seite	Einsatzarten							
		Steuern, Manövrieren		Fahren im Verkehr		Navigieren / Streckenfahrt		Radarfahrt	
		G	F	G	F	G	F	G	F
a. 2D/3D-Modelle	98	1	2	2	2	2	2	2	2
b. Detaillierungsgrad	99	1	1	1	1	2	2	1	1
c. Tag-/Nacht-Modelle	100	1	2	2	2	2	2	2	2
3.4.2.2 Bewegliche Objekte									
a. 2D/3D-Modelle	101	1	2	2	2	2	2	2	2
b. Lichterführung	101	1	1	2	2	2	2	2	2
c. Detaillierungsgrad	102	1	1	2	2	2	2	2	2
d. Tag-/Nacht-Modelle	103	1	1	2	2	2	2	2	2
3.4.2.3 Treibende Objekte									
a. 2D/3D-Modelle	103	1	2	2	2	2	2	2	2
b. Detaillierungsgrad	104	1	1	2	2	2	2	2	2
c. Tag-/Nacht-Modelle	104	1	1	2	2	2	2	2	2
3.4.3 Radardatenbank									
a. Radarreflexion	106	1	2	1	2	1	2	2	2
b. Störechos durch Wellen	106	1	2	1	2	1	2	2	2
c. Störechos durch Niederschlag	107	1	2	1	2	1	2	2	2
3.5 Weitere Ausstattungsmerkmale									
3.5.1 Wetterbedingungen									
3.5.1.1 Seegang									
3.5.1.1 Seegang	108	1	2	1	2	1	2	1	2
3.5.1.2 Niederschlag									
3.5.1.2 Niederschlag	109	1	2	1	2	1	2	2	2
3.5.2 Kartendarstellung									
Ausstattung	110	2	2	2	2	2	2	2	2
3.5.3 Betriebsmodi									
3.5.3.1 Sprachoptionen									
3.5.3.1 Sprachoptionen	111	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
3.5.3.2 Parallel laufender Simulationen									
3.5.3.2 Parallel laufender Simulationen	111	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
3.5.4 Speichermöglichkeiten, Replay									
a. Speicherung der Simulationswerte	112	2	2	2	2	2	2	2	2
b. Aufzeichnung des Crewverhaltens	113	1	2	1	2	1	2	1	2
c. Wiedergabe an einer Arbeitsstation	114	1	2	2	2	2	2	2	2
d. Wiedergabe mit dem gesamten Simulator	114	1	2	1	2	1	2	1	2
e. Wiederaufnahme einer Simulation	115	1	2	1	2	1	2	1	2
f. Analysemöglichkeiten und Datenexport	115	2	2	2	2	2	2	2	2
g. Archivierung	116	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
3.5.5 Schnittstellen									
a. Austausch von Schiffsmodellen	118	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
b. Austausch von Geländemodellen	119	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
c. Austausch von Übungsgebieten	119	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
d. Austausch von Strömungsdaten	120	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
e. Austausch von Tidemodellen	121	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
f. Übertragung von aufgezeichneten Simulationsläufen	121	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
g. Kopplung mit externen Berechnungsverfahren	122	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
h. Kopplung mit anderen Simulatoren	123	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.
i. Austausch von Audiodaten	123	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.	n.B.

Sofern ein Simulator bezüglich einzelner Leistungsmerkmale die empfohlenen Anforderungen nicht erfüllt, ist zu prüfen, ob dadurch seine Eignung für die betreffende(n) Einsatzart(en) grundsätzlich in Frage gestellt ist oder ob davon nur einzelne Lernziele betroffen sind. In letzterem Fall sind zwar die Einsatzmöglichkeiten für bestimmte Aufgaben eingeschränkt bzw. ausgeschlossen, der Simulator behält aber ansonsten auf den übrigen Feldern seine volle Leistungsfähigkeit. Ob und inwieweit derartige Einschränkungen toleriert werden können, kann wiederum nur im Einzelfall entschieden werden.

Als besonders kritisch anzusehen sind auf jeden Fall solche Einschränkungen, die die Gefahr beinhalten, dass sich durch das Training am Simulator falsche Verhaltensmuster verfestigen. Hier sollte – dieser Hinweis stammt aus dem Projektbegleitenden Ausschuss – im Zweifelsfall auf bestimmte Übungen verzichtet werden, wenn die Einhaltung der herausgestellten Anforderungen nicht gewährleistet ist. Als Beispiel hierzu genannt wurden Schleusenmanöver, die nur dann am Simulator trainiert werden sollten, wenn die fahrdynamische Modellierung zumindest mittleren Ansprüchen genügt.

4.3 Ergänzende Hinweise

Die in Abschnitt 4.2 erarbeiteten Empfehlungen hinsichtlich der Anforderungen an Fahrsimulatoren sind für verschiedene Nutzergruppen von Bedeutung. Zu nennen sind insbesondere

- die Ausbildungseinrichtungen bzw. Betreiber von Simulationsanlagen, die die Anlage nutzen, um bestimmte Lerninhalte zu vermitteln,
- das Gewerbe, das zum Teil spezifische Bedarfe artikuliert, die über die allgemeinen Lerninhalte hinausgehen,
- der Verordnungsgeber, dem die rechtliche Regelung des Einsatzes von Fahrsimulatoren im Rahmen der Aus- und Weiterbildung des nautischen Personals obliegt, sowie
- die Hersteller von Fahrsimulatoren, die entsprechende Anlagen konzipieren und am Markt anbieten.

Zum Abschluss dieses Kapitels sollen deshalb – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – einige ergänzende Hinweise gegeben werden, die der jeweiligen Perspektive der einzelnen Nutzergruppen Rechnung tragen.

Ausbildungseinrichtungen, Betreiber von Fahrsimulatoren

Die geplanten Trainingsprogramme entscheiden über die erforderlichen Funktionalitäten und deren notwendige Qualitätsausprägung. Hier sind sowohl Einschränkungen aufgrund einer Konzentration der Trainingsinhalte auf bestimmte Teilbereiche, z. B. mit Verzicht auf Übungen im Zusammenhang mit dem Einsatz einer Hubbrücke oder dem Befahren von Schleusen, als auch höhere Anforderungen, etwa im Zusammenhang mit reedereispezifischen Schulungen, gegenüber der in Abschnitt 4.2 ausgewiesenen Bewertungsmatrix denkbar. Außerdem ist vor allem über den Umfang der gewünschten bzw. erforderlichen Schiffsmodelle und Fahrtgebiete zu entscheiden.

Besondere Beachtung wird darauf zu legen sein, dass der Hersteller in geeigneter Weise die Qualität der fahrdynamischen Simulation nachweist, um eine Übertragung der am Simulator erlernten Verhaltensweise auf den praktischen Schiffsbetrieb sicherzustellen und auf jeden Fall das Erlernen falscher Verhaltensmuster auszuschließen.

Soweit der Ordnungsgeber – womit zu rechnen ist – verbindliche Regelungen für den Einsatz von Fahrsimulatoren im Rahmen der Aus- und Weiterbildung des nautischen Personals festlegt und hierzu entsprechende Anforderungen an den Simulator vorschreibt, ergeben sich hieraus Mindeststandards, deren Einhaltung vom Hersteller nachgewiesen werden sollte.

Neben diesen generellen Überlegungen bei der Anschaffung einer Simulationsanlage sollte der Betreiber die Folgekosten in seine Kalkulation einbeziehen. Dies betrifft insbesondere lizenzrechtliche Aspekte, die beispielsweise über den möglichen Austausch von Schiffs- und Geländemodellen entscheiden, sowie Kosten für Wartung und Software-Updates, die sich durchaus in einem sechsstelligen Euro-Betrag niederschlagen können.

Auch sollte schon im Beschaffungsstadium die Frage geprüft werden, inwieweit man bereit ist, sich hinsichtlich einer möglichen Erweiterung der Datenbanken an den Hersteller zu binden. Als Alternativen in Frage kommen die Eigenerstellung solcher Erweiterungen bzw. die Vergabe entsprechender Aufträge an Dritte, womit zumindest eine gewisse Unabhängigkeit erhalten bliebe. Die Eruierung und Verhandlung derartiger Optionen ist erfahrungsgemäß nur im Vorfeld einer Kaufentscheidung möglich.

Gewerbe

Neben dem Einsatz von Fahrsimulatoren im Rahmen der normalen Aus- und Weiterbildung – dies betrifft die in Abschnitt 4.2. betrachteten Einsatzarten, auf die an dieser Stelle nicht mehr erneut eingegangen werden muss – sind für das Gewerbe reedereispezifische Schulungen von Interesse, deren Anforderungen nur für den jeweiligen Bedarfsfall formuliert werden können. Da die Fahrsimulatoren gemeinhin nur auf die allgemein gültigen Lerninhalte ausgerichtet sind, sind im Regelfall für derartige Schulungen Anpassungen bzw. Erweiterungen am Fahrsimulator notwendig, die durchaus einen beträchtlichen Aufwand verursachen können. Dies betrifft beispielsweise die zugrunde zu legenden Schiffsmodelle (z. B. Abmessungen, Manövriereigenschaften, Antriebs- und Steuerorgane) oder Fahrtgebiete (z. B. spezielle Streckenabschnitte, Zufahrten zu Anlegestellen, Werkshäfen), die gesondert zu modellieren und in den entsprechenden Datenbanken zu hinterlegen sind. Da diese Erweiterungen kundenspezifisch erfolgen und in der Regel nur begrenzt im Rahmen des allgemeinen Trainingsbetriebes genutzt werden können, ist der damit verbundene Aufwand überwiegend vom Auftraggeber zu finanzieren. Hier bedarf es deshalb im Einzelfall einer genauen Kalkulation, um zu prüfen, ob die zu erwartenden Vorteile den zusätzlichen Aufwand für die Anpassung des Simulators rechtfertigen.

Verordnungsgeber

Der Ordnungsgeber hat den Rahmen zu bestimmen, innerhalb dessen Fahrsimulatoren komplementär zur praktischen Erfahrung an Bord von Schiffen im Rahmen der Aus- und Weiterbildung des nautischen Personals eingesetzt werden können bzw. einzusetzen sind. Gleichzeitig sind die Anforderungen festzulegen, die zu diesem Zweck zugelassene Simulatoren erfüllen müssen.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Festlegung von Mindestanforderungen zu, die sich auf den Bereich der Fahrdynamik einschließlich der hydrodynamischen Randbedingungen beziehen. Dies erscheint vor allem deshalb erforderlich, um nicht nur auszuschließen, dass durch das Training am Simulator falsche Verhaltensmus-

ter erlernt werden, sondern insbesondere um sicherzustellen, dass die am Simulator erworbenen Fähigkeiten auch auf den realen Fahrbetrieb übertragen werden können und so die Ausbildung insgesamt effizienter und besser gestaltet werden kann.

Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass der Verordnungsgeber Vorgaben macht sowohl zu den Übungsinhalten, das heißt zu den Aufgaben, die der Proband am Simulator trainieren soll, als auch zu den dabei zugrunde zu legenden Schiffstypen und Übungsgebieten. Sofern es um die Vermittlung spezifischer Streckenkenntnisse geht, dürften sich die damit verbundenen Anforderungen nicht auf die Sicht- und Radardatenbanken beschränken, sondern auch die Unterwassertopographie sowie streckentypische Strömungsverhältnisse umfassen.

Hersteller

Hersteller von Fahrsimulatoren bedienen seit vielen Jahren den maritimen Bereich. Demgegenüber ist die Binnenschifffahrt ein vergleichsweise neuer und relativ kleiner Markt. Um diesen Markt zu bedienen, sind keine vollständigen Neuentwicklungen erforderlich, sondern in erster Linie Anpassungen der maritimen Simulatoren, die den spezifischen Bedingungen der Binnenschifffahrt Rechnung tragen.

Dabei genügt es nicht, über eine entsprechende Gestaltung der Hardware (insbesondere der Fahrstände und Geräte) den Eindruck eines Binnenschiffs zu vermitteln; die eigentliche Herausforderung liegt vielmehr darin, die Simulationsprozesse so zu gestalten, dass die Fahrdynamik den für die Binnenschifffahrt typischen Bedingungen eines flachen und seitlich begrenzten Fahrwassers (confined conditions) gerecht wird, und dies in geeigneter Form nachzuweisen. Hinweise hierzu können dem dritten Kapitel entnommen werden. Gleichzeitig sind, sofern entsprechende Vorschriften durch den Verordnungsgeber für den Einsatz von Fahrsimulatoren im Rahmen der Aus- und Weiterbildung des nautischen Personals erlassen werden, die sich daraus ergebenden Anforderungen zu beachten.

Aus Sicht der Kunden kommen darüber hinaus der Dokumentation (Systembeschreibung, Nutzerhandbuch) sowie den Möglichkeiten der Erweiterung der Datenbanken und der Aktualisierung der Simulationssoftware eine wichtige Rolle zu. Diese Faktoren sind ebenso wie weitere Folgekosten (z. B. für Wartung) mitentscheidend für die Auswahl des Fahrsimulators und eröffnen den Herstellern damit Chancen, sich vom Wettbewerb abzuheben.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der Untersuchung bestand darin, Qualitätsanforderungen für den Einsatz von Fahrsimulatoren in der Binnenschifffahrt zu erarbeiten, die den beteiligten Akteuren eine Orientierungshilfe liefern und als Grundlage und Vorbereitung einer späteren Standardisierung bzw. Normung dienen können.

Da sich die Qualitätsanforderungen aus den Einsatzarten ableiten, für die ein Fahrsimulator genutzt werden soll, wurde in Kapitel 2 zunächst die Frage gestellt, für welche Aufgaben ein Training an solchen Anlagen grundsätzlich in Betracht zu ziehen ist. Ein generelles Problem bei der Bestimmung der Einsatzarten liegt darin, dass hierfür zurzeit keine Regelungen des zuständigen Ordnungsgebers vorliegen, wohl aber vor allem auf Ebene der ZKR Bestrebungen existieren, solche Regelungen zu schaffen. Da diese Prozesse jedoch noch nicht abgeschlossen sind, gibt es zurzeit keine verbindliche Grundlage, auf die Bezug genommen werden könnte. Vor diesem Hintergrund wurde bezüglich der zu betrachtenden Einsatzarten eine Systematik gewählt, die nicht an die institutionellen Regelungen gebunden ist. Im Vordergrund stand dabei die Frage nach den möglichen Inhalten und Zielgruppen eines Fahrtrainings am Simulator, was zur Unterscheidung von insgesamt acht Einsatzarten geführt hat.

Fahrsimulatoren sind komplexe Anlagen, die sich aus verschiedenen Teilsystemen zusammensetzen, die nach unterschiedlichen Kriterien systematisiert werden können. Um die Faktoren herauszuarbeiten, die letztlich über die Leistungsfähigkeit eines Simulators entscheiden, wurde in Kapitel 3 ein Ansatz gewählt, der auf der ersten Ebene zwischen verschiedenen funktionalen Bereichen unterscheidet, z. B. Simulationskern, Ausgabesysteme, Datenbanken etc. Diese funktionalen Bereiche wurden weiter heruntergebrochen auf die eigentlichen Leistungsmerkmale, die den weiteren Betrachtungen zugrunde gelegt wurden. Für jedes Leistungsmerkmal wurden drei Klassen definiert, je nachdem ob die Ausprägung geringen (1), mittleren (2) oder hohen (3) Ansprüchen genügt. Außerdem wurden jeweils Methoden und Verfahren aufgezeigt, mit denen das Vorhandensein bzw. die Ausprägung des entsprechenden Leistungsmerkmals geprüft werden kann.

Da sich die Ausbildung an Fahrsimulatoren vorrangig auf das Fahrtraining in unterschiedlichem Kontext und auf unterschiedlichem Niveau konzentriert und so die praktische Ausbildung an Bord ergänzen soll, muss sichergestellt sein, dass sich die am Simulator erlernten Verhaltensweisen auf die reale Fahrt übertragen lassen. Vor diesem Hintergrund kommt der fahrdynamischen Simulation eine herausgehobene Stellung zu. Mängel in diesem Bereich beeinträchtigen nicht nur die Übertragbarkeit der am Simulator erworbenen Fähigkeiten, sondern beinhalten im Extremfall die Gefahr, dass sich falsche Verhaltensmuster verfestigen. Aus diesem Grunde wurde in Kapitel 3 ein gesonderter Abschnitt aufgenommen, der sich mit den Möglichkeiten einer vertiefenden Qualitätsprüfung der fahrdynamischen Simulation befasst. Eine solche weiterführende Qualitätsprüfung, die entsprechende hydrodynamische Fachkenntnisse voraussetzt, hat zum Ziel, die Ergebnisse der fahrdynamischen Simulation in ihrer quantitativen Genauigkeit zu bewerten, und geht damit über die zuvor beschriebenen Verfahren einer qualitativen Beurteilung der Ergebnisse hinaus.

Die zentralen Ergebnisse der Untersuchung finden sich in Kapitel 4. Aufbauend auf den vorangegangenen Ausführungen der Kapitel 2 und 3 wurde eine Bewertungsmatrix erstellt, aus der ersichtlich ist, welche Ausprägung der herausgearbeiteten Leistungsmerkmale für die betrachteten Einsatzarten für den Normalfall empfohlen wird. Die ausgewie-

senen Ergebnisse wurden intensiv im Projektbegleitenden Ausschuss beraten und abgestimmt und stellen deshalb eine von Experten erarbeitete Empfehlung dar.

Da die erarbeiteten Empfehlungen für verschiedene Nutzergruppen (insbesondere für Ausbildungseinrichtungen / Betreiber von Simulationsanlagen, das Gewerbe, den Verordnungsgeber sowie die Hersteller von Fahrsimulatoren) von Bedeutung sind, wurden in Abschnitt 4.3 einige ergänzende Hinweise zusammengestellt, die der jeweiligen Perspektive der einzelnen Nutzergruppen Rechnung tragen.

Bei einer Orientierung an den erarbeiteten Empfehlungen sollten folgende Aspekte beachtet werden:

- Fahrsimulatoren in der Binnenschifffahrt können zu sehr unterschiedlichen Zwecken und mit unterschiedlichen Lernzielen eingesetzt werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde auf als typisch erachtete Einsatzarten abgestellt, sodass Besonderheiten, die sich aus den konkreten Einsatzbedingungen ergeben, nicht berücksichtigt werden konnten. Bei Rückgriff auf die erarbeiteten Anforderungen ist deshalb zu prüfen, inwieweit aufgrund der besonderen Umstände Anpassungen bzw. Spezifizierungen erforderlich sind.
- Mit den herausgestellten Leistungsmerkmalen wurde versucht, ein möglichst umfassendes Spektrum an Lernzielen abzudecken. Dies bedeutet, dass bei einem eingeschränkten Trainingsprogramm bestimmte Leistungsmerkmale gar nicht zum Tragen kommen können. Dies gilt beispielsweise für die Anforderungen im Zusammenhang mit dem Einsatz einer Hubbrücke, die nur dann von Bedeutung sind, wenn auch entsprechende Übungsszenarien vorgesehen sind. Andererseits sind, etwa bei reedereispezifischen Schulungen, gegenüber der ausgewiesenen Bewertungsmatrix auch höhere Anforderungen denkbar, möglich ist auch, dass zusätzliche Leistungsmerkmale zu beachten sind.
- Aus dem Projektbegleitenden Ausschuss stammt der Hinweis, im Zweifelsfall auf bestimmte Lösungen zu verzichten, wenn die Einhaltung der Mindestanforderungen nicht gewährleistet ist, um eine eventuelle Verfestigung falscher Verhaltensweisen zu vermeiden. Als Beispiel genannt wurde das Befahren von Schleusen, welches bezüglich der fahrdynamischen Modellierung hohe Anforderungen stellt.

Die erarbeiteten Empfehlungen sollen primär eine Orientierungshilfe für verschiedene Nutzergruppen bieten, gleichzeitig können sie als Grundlage und Vorbereitung für eine Standardisierung bzw. Normung herangezogen werden. Es wurde deshalb versucht, dieser letztgenannten Intention bereits durch eine ausgewogene Besetzung des Projektbegleitenden Ausschusses Rechnung zu tragen. Chancen, die hier angestellten Überlegungen in die europäische Diskussion einzubringen, bestehen vor allem auf zwei Wegen. Zum einen hat die ZKR, die sich zurzeit auf europäischer Ebene um einheitliche Regelungen zum Einsatz von Fahrsimulatoren im Rahmen der Aus- und Weiterbildung des nautischen Personals in der Binnenschifffahrt bemüht, bereits die Ergebnisse dieser Untersuchung angefragt. Zum anderen sehen die europäischen Ausbildungseinrichtungen bzw. das Netzwerk EDINNA¹⁷ den Einsatz von Fahrsimulatoren in der Binnenschifffahrt als

¹⁷ <http://www.edinna.eu>

konkrete Perspektive für die Zukunft.¹⁸ Das Schiffer-Berufskolleg RHEIN war in die Arbeiten zu diesem Projekt eingebunden und wird die Projektergebnisse als EDINNA-Mitglied in die Arbeit dieses Netzwerkes einbringen.

Ein weiterer Aspekt betrifft Fragen der Zertifizierung von Fahrsimulatoren für die Binnenschifffahrt.¹⁹ Hierfür können die Projektergebnisse die Grundlage für eine zu erarbeitende Zertifizierung bilden (dies wird auch von dem im Projektbegleitenden Ausschuss eingebundenen Hersteller begrüßt). Eine vereinfachte Zertifizierung kann aufgrund der technischen Aspekte in den Abschnitten 3.1 bis 3.5 erfolgen. Wichtige Grundlagen für eine Zertifizierung mit erhöhten Qualitätsansprüchen, die sich auch für den maritimen Bereich anbietet, liefert vor allem der Abschnitt 3.6. Angesichts der heute verfügbaren technischen Möglichkeiten und theoretischen Erkenntnisse sollte eine Zertifizierung immer eine quantitativ messbare und objektive Aussage über die Simulationsqualität bescheinigen.

Schließlich haben die Arbeiten und Recherchen zu diesem Projekt gezeigt, dass auf verschiedenen Gebieten weitere Entwicklungsarbeiten zu leisten sind, um den Anforderungen für eine umfassende Nutzung von Fahrsimulatoren in der Aus- und Weiterbildung von nautischem Personal in der Binnenschifffahrt gerecht zu werden. Als vorrangig haben sich dabei vor allem zwei Bereiche herausgestellt:

- Zum einen betrifft dies die fahrdynamische Simulation für das Befahren von Schleusen. Die strömungstechnischen Vorgänge bei der Schleusenein- und -ausfahrt lassen sich mathematisch relativ einfach beschreiben und sind von großer Bedeutung, da sich ohne ihre Berücksichtigung keine realistischen Schleusenmanöver simulieren lassen. Alle dafür notwendigen informationstechnischen und numerischen Verfahren sind bereits vorhanden, wurden aber bisher noch nicht in Schiffsführungssimulatoren implementiert.
- Zum anderen geht es um die Modellierung der Wellenbildung. Die Schiffsführer erkennen am Wellenbild Gewässereigenschaften (z. B. Untiefen) und können die eigene Schiffsgeschwindigkeit und die anderer Verkehrsteilnehmer abschätzen. Während sich im tiefen Wasser sowohl die schiffserzeugten Wellen und deren Ausbreitung als auch die winderregten Wellen leicht realitätsnah berechnen lassen, ist bei begrenzter Wassertiefe die Wechselwirkung mit der Bodentopographie zu berücksichtigen. Hier sind noch weitere Entwicklungsarbeiten zu leisten. Allerdings haben diese Effekte keine unmittelbare Kraftwirkung auf die Schiffe und beeinflussen somit nicht direkt die Simulation.

Die Berechnung der Wellenausbreitung in Wasser begrenzter Tiefe in Echtzeit und deren Darstellung im Sichtsystem erfordert einen hohen Rechenaufwand. Technisch erscheint dies heute möglich, es wurde allerdings noch in keinem Schiffsführungssimulator realisiert.

¹⁸ EDINNA ist auch an der ZKR-Arbeitsgruppe beteiligt und hat darüber hinaus den Vorschlag *Standards of Training and Certification in Inland Navigation* (STCIN) hinsichtlich standardisierter Ausbildungsinhalte entwickelt, die in weiten Teilen für den Einsatz von Schiffsführungssimulatoren relevant sein dürften. Diese Annahme ergibt sich aus der Anlehnung an den maritimen Bereich, insbesondere an die STCW Richtlinie *Standards of Training, Certification and Watch Keeping* der IMO.

¹⁹ Im maritimen Bereich werden gemeinhin zertifizierte Schiffsführungssimulatoren eingesetzt. Dabei spielt die STCW-Richtlinie eine Rolle. Diese Richtlinie ist allerdings wenig konkret und eignet sich kaum dazu, die Qualität eines Simulators zu definieren.

6. Abkürzungsverzeichnis

AIS	Automatic Identification System
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
ENC	Electronic Nautical Chart (Elektronische Seekarte)
GPS	Global Positioning System
IENC	Inland Electronic Nautical Chart
RheinSchPV	Rheinschiffahrtspolizeiverordnung
RheinSchUO	Rheinschiffahrtsuntersuchungsordnung
SBK	Schifferberufskolleg Rhein
SFS	Schiffsführungssimulator
ZKR	Zentralkommission für die Rheinschiffahrt

7. Literatur

- [1] J., Brix, E. Müller, P. Oltmann, S.D. Sharma, H. Söding, B. Wagner: „Manövrierfähigkeit und Steuerorgane“, Handbuch der Werften, Band XVIII, Hamburg, 1986
- [2] J. Brix (Hrsg.): „Manoeuvring Technical Manual“, Seehafen-Verlag, 1993.
- [3] P. Oltmann, H. Söding, A. Cura Hochbaum: „Manövrieren – Standortbestimmungen und Perspektiven“, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 2000.
- [4] O. el Moctar: „Numerical Computations of Flow Forces in Ship Manoeuvring“, Ship Technology Research Journal, 09/2001, pp. 98-123, 2001
- [5] A. Gronarz: „Rechnerische Simulation der Schiffsbewegung beim Manövrieren unter besonderer Berücksichtigung der Abhängigkeit von der Wassertiefe“, Dissertation Universität Duisburg, 1997
- [6] R. Henn: „Simulation von Schleusenmanövern“, in Binnenschifffahrt Nr. 10, 2009
- [7] M. Segal, K. Akeley: „The OpenGL Graphics System: A Specification“, The Khronos Group, 2012
- [8] John Kessenich (ed.): „The OpenGL® Shading Language“, The Khronos Group, 2012
- [9] P.A. Wilson (ed.): „Manoeuvring and Control of Marine Craft“, Computational Mechanics Publications, 1992
- [10] Div. Autoren.: „International Conference on Maritime Simulation“, Proceedings MARSIM, 2000, 2003, 2006, 2009, 2012
- [11] Div. Autoren.: „International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water“, Proceedings, 2009, 2011, 2013
- [12] M. A. Abkowitz: „Lectures on Ship Hydrodynamics – Steering and Manoeuvrability“, Report Hy-5, 1964
- [13] P. Oltmann, S. D. Sharma: „Simulation of combined Engine and Rudder Manoeuvres using an improved Model of Hull-Propeller-Rudder Interactions“, 15. ONR Symposium, 1984

Normen, Richtlinien und Verordnungen

- [14] International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, International Maritime Organization, London, 1978
- [15] Verordnung über die Erteilung von Radarpatenten (RadarPatV), Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (Hrsg.)
- [16] Verordnung über die Erteilung von Patenten für den Rhein (Rheinpatentverordnung RheinPatV), Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (Hrsg.)
- [17] Verordnung über die Erteilung von Radarpatenten auf den Bundeswasserstraßen außerhalb des Rheins (RadarPatEVB)
- [18] Rheinschiffsuntersuchungsordnung (RheinSchUO), Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (Hrsg.)

- [19] Verordnung über die Schiffssicherheit in der Binnenschifffahrt (BinSchUO)
- [20] Niederländische Erkenningsrichtlijn Radarsimulator (2011)
- [21] Deutsches Institut für Normung: „Die Deutsche Normungsstrategie“, Berlin, 2004
- [22] Verordnung über die Berufsausbildung zum Binnenschiffer/zur Binnenschifferin (BinSchAusbV)
- [23] Verordnung über Befähigungszeugnisse in der Binnenschifffahrt (BinSchPatentV)
- [24] Verordnung zur Einführung der Verordnung über das Schiffspersonal auf dem Rhein (RheinSchPersEV)
- [25] Binnenschifffahrtsstraßen-Ordnung (BinSchStrO)
- [26] Seeschifffahrtsstraßen-Ordnung (SeeSchStrO)
- [27] EU-Richtlinie 2006/87/EG
- [28] ETSI EN 302-194-1, „Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Navigation radar used on inland waterways: Part 1: Technical characteristics and methods of measurement“
- [29] IEEE 1516, „IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Framework and Rules“

Weiteres

- [30] Auszug aus einem internen Arbeitsdokument der ZKR vom 8. November 2012
- [31] Pressemitteilung der ZKR vom 30. Januar 2013
- [32] Informationen des European Telecommunications Standards Institute, <http://www.etsi.org>
- [33] <http://www.edinna.eu>

ANHÄNGE

Anhang 1: Pressemitteilung der ZKR vom 30. Januar 2013

Anhang 2: Auszug aus einem internen Arbeitsdokument der ZKR vom 8. November 2012

Anhang 3: Niederländische Erkenningsrichtlijn Radarsimulator (2011)

Anhang 1: Pressemitteilung der ZKR vom 30. Januar 2013



Ref.: CC/CP (13) 01

**Runder Tisch der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR)
über Fahrsimulatoren in der Binnenschifffahrt
Straßburg, den 30. Januar 2013**

Die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) hat am 30. Januar 2013 einen Runden Tisch über Fahrsimulatoren in der Binnenschifffahrt organisiert. Ziel dieser Veranstaltung war es, den verschiedenen Beteiligten Gelegenheit zu geben, ihre Ansichten über die Zielgruppen, Einsatzmodalitäten und erforderlichen Funktionalitäten dieses Instruments zu äußern. Außerdem bot sie vielfältige Möglichkeiten zum Erfahrungsaustausch.

Als Ergebnis der Veranstaltung konnte Folgendes festgehalten werden:

- Fahrsimulatoren können einen wichtigen Beitrag zur Modernisierung und Rationalisierung der beruflichen Laufbahn von Schiffsführern leisten. Dementsprechend werden sie als Instrument gesehen, mit dem die Qualität der Personalausbildung während des gesamten Berufslebens verbessert werden kann.
- Simulatoren erhöhen die Attraktivität der Binnenschifffahrt, indem sie neue Perspektiven durch berufliche Umschulung eröffnen.
- Simulatoren erleichtern zudem die Kommunikation mit der breiten Öffentlichkeit und können insoweit als Instrument zur Förderung der Binnenschifffahrt dienen.
- Simulatoren können praktische Erfahrungen nicht ersetzen. Diese beiden Formen des Fähigkeitenerwerbs sind daher als komplementär zueinander zu betrachten.
- Die Funktionalitäten des Simulators können hinsichtlich ihres Umfangs je nach Einsatzzweck variieren.

Zum Hintergrund

Fahrsimulatoren sind in der Binnenschifffahrt eine noch relativ neue Erscheinung. Sie können das Verhalten eines Schiffes so realitätsgetreu nachbilden, dass sich in der fiktiven Steuerkabine der Eindruck einstellt, man befinde sich tatsächlich am Steuer eines Schiffes. Eine Vielzahl von Bildschirmen stellt die Landschaft und Topographie bestimmter Streckenabschnitte dar.

Das Thema Fahrsimulatoren genießt bei der ZKR hohe Priorität. Ihr Ausschuss für Sozial-, Arbeits- und Berufsausbildungsfragen hat sich daher mit den Einsatzmöglichkeiten dieses Instruments beschäftigt.

Zielgruppen

Arjen Mintjes wies in seinem Vortrag darauf hin, dass für den Simulator unterschiedliche Zielgruppen in Frage kommen. Insgesamt wurden vier Zielgruppen identifiziert:

- Schüler, die einen Ausbildungsgang an einer anerkannten Schifferschule absolvieren,
- fahrendes Personal, das seine Befähigung allein aufgrund seiner Schifffahrtserfahrung erwirbt,
- fertig ausgebildete Schiffsführer, die Spezialisierungs- oder Auffrischungslehrgänge absolvieren möchten,
- Personen aus anderen Berufssparten (Umschulung von „Quereinsteigern“). Diese Zielgruppe muss noch genauer definiert werden, da die betroffenen Personen sehr unterschiedliche Profile aufweisen.

Einsatzmodalitäten

In der Veranstaltung konnten für den Simulator vier mögliche Einsatzbereiche identifiziert werden. So ist sein Einsatz denkbar als

- pädagogisches Instrument im Rahmen der Erstausbildung an einem anerkannten Ausbildungsinstitut,
- Instrument zur Durchführung von Prüfungen zum Nachweis praktischer Erfahrungen, die auf einem Schiff erworben wurden.
- Instrument für die Weiterbildung von Schiffsführern,
- Instrument zur Straffung der Ausbildung im Rahmen einer beruflichen Umschulung, das gleichzeitig als Trainingsmodul oder zur Zwischenevaluierung dient.

Erforderliche Funktionalitäten

Der Runde Tisch führte zu der Erkenntnis, dass die Qualität eines Simulators insbesondere von dessen Fähigkeit abhängt, die Realität möglichst getreu wiederzugeben. Wie der Vortrag von Herrn Hissel zeigte, hängen bestimmte Funktionalitäten jedoch unmittelbar mit dem gewünschten Einsatzzweck des Simulators zusammen.

Stärken und Schwächen des Instruments

Der Simulator bietet zahlreiche Vorteile. So ermöglicht er das Erlernen der Schiffsführung unter (meteorologisch, hydrologisch usw.) schwierigen Bedingungen; Vorgänge werden wiederholt, bis sich

der Erfolg einstellt. Er erlaubt zudem, Fehler durch eine Analyse der Konsequenzen zu Ende durchzuspielen und lässt unterschiedliche Schwierigkeitsniveaus zu.

Wie jedes Instrument hat jedoch auch der Simulator seine Grenzen. So gibt er die Realität zwar möglichst getreu wieder, aber bestimmte Situationen können nicht zu akzeptablen Kosten dargestellt werden. Zudem ist das Gefühl bei einem Simulator doch ein anderes als auf einem Schiff.

Das Training am Simulator stellt daher eine Ergänzung zum Erwerb praktischer Erfahrungen dar.

Ausblick

Der Runde Tisch hat gezeigt, welche Bedeutung dem Simulator im Rahmen einer Politik der Modernisierung der beruflichen Laufbahn von Schiffsführern zukommt, und zwar sowohl im Hinblick auf die Attraktivität als auch die Sicherheit des Gewerbes. Die Modernisierung der Befähigungen in der Binnenschifffahrt sollte unter verschiedenen Aspekten angegangen werden, wobei der Simulator jeweils eine entscheidende Rolle spielen könnte. Wie Herr Wieck und Herr Paulus in ihrem Vortrag ausführten, wird die praktische Lehre im Rahmen der Erstausbildung von Schifferlehrlingen bereits durch den Simulator ergänzt und die Qualität der Ausbildung so verbessert. Darüber hinaus würde der Simulator die Entwicklung von Weiterbildungsmodulen ermöglichen. Damit könnte den Bedürfnissen von Unternehmen und Arbeitnehmern Rechnung getragen werden (siehe Vortrag von Herrn Tadsen und Herrn Bramley), ferner würden die beruflichen Entwicklungsperspektiven verbessert. Zudem könnte der Simulator Personen aus anderen Berufssparten den Zugang zum Gewerbe erleichtern. Ermöglicht würde dies insbesondere durch Anpassung der Ausbildung an den beruflichen Werdegang der Kandidaten (siehe Vortrag von Herrn Roozendaal). Schließlich könnte der Simulator auch zur Modernisierung der Prüfung zum Erwerb des Schiffsführerzeugnisses beitragen und die Überprüfung der praktischen Erfahrung der Kandidaten erleichtern (siehe Vortrag von Herrn van Reem).

Eine weitere Erkenntnis des Runden Tisches war, dass das Thema Simulatoren von zahlreichen Akteuren bearbeitet wird und eine internationale Koordinierung der verschiedenen Projekte wünschenswert und notwendig wäre.

Auf dem Weg zur Vision 2018

Der Runde Tisch fand im Rahmen der Initiative „Vision 2018“ statt, die Anfang 2013 von der ZKR lanciert wurde. Als Schlusspunkt einer Reihe weiterer Runder Tische, die im Laufe dieses Jahres in Partnerschaft mit den wichtigsten Akteuren der europäischen Binnenschifffahrt veranstaltet werden sollen, wird am 3. und 4. Dezember 2013 in Straßburg der 5. internationale ZKR-Kongress stattfinden, auf dem die Zentralkommission die „Kompetenzen zusammenführen“ wird, um „eine gemeinsame Vision für eine nachhaltige Binnenschifffahrt: die Vision 2018“ zu vereinbaren. Die Ergebnisse dieser Veranstaltungen werden die Grundlage für eine konkrete und umfassende Roadmap für die Binnenschifffahrt der kommenden Jahrzehnte bilden. Soziale Anliegen werden dabei eine wesentliche Rolle spielen. Die Schlussfolgerungen zur künftigen Rolle von Simulatoren stellen einen ersten Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Kenntnisse und Fähigkeiten des Sektors dar.

Über die ZKR (www.ccr-zkr.org)

Die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt ist eine internationale Organisation, die Hauptverantwortung für die verordnungsrechtliche Tätigkeit im Hinblick auf die Rheinschifffahrt trägt. Sie übernimmt Aufgaben im technischen, juristischen, wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Bereich. In allen Arbeitsbereichen sind Effizienz des Transports auf dem Rhein, Sicherheit sowie Umweltschutz die Leitlinien des Handelns der ZKR, deren Tätigkeiten sich heute auf einen großen Teil der europäischen Wasserstraßen erstrecken.

Kontakt

Sekretariat der ZKR

Raphaël Wisselmann, Verwaltungsrat für technisch-nautische Fragen und
Binnenschifffahrtsinformationssysteme

Tel.: +33 (0)3 88 52 96 44 /r.wisselmann@ccr-zkr.org

Anhang 2: Auszug aus einem internen Arbeitsdokument der ZKR vom 8. November 2012

Binnenschiffssimulator

1	Aufgaben, die der Kandidat am Simulator durchführen muss	Technische Konsequenzen	Anmerkungen, derzeitige Kapazitäten der Simulatoren
1.1.1	Der Kandidat wird mit den Manövern eines Binnenschiffes vertraut gemacht.		
1.1.2	Der Kandidat begreift die operationellen Verfahren für die jeweilige Brückenausstattung, z. B. - Autopilot (mit Heading Lock) in verschiedenen Betriebsarten: Regelung der Wendegeschwindigkeit, Notsteuerung bei Pannen usw. (siehe Vorschriften der RheinSchUO) - Radar - elektronische Karte - UKW-Funkanlage - Ankersteuerung: Bedingungen für den Ankereinsatz, Reaktionen des Schiffes usw. - Steuerung der Navigationslichter einschließlich Manöverlichter - Maschinensteuerung, Anzeigen und Alarmer - Steuerung des Bugruderantriebs - interne Kommunikationsanlagen (für die Kommunikation innerhalb der Besatzung) - Inland AIS - Schallzeichen und blaue Tafeln	- der Simulator muss mit einem geeigneten mathematischen Modell zur Simulation der Reaktionen des Schiffes beim oder nach dem Ankerwurf versehen sein	Simulatoren NL und D: Modellierung des Ankerns und des Anhaltens in Notfällen vorgesehen Simulator B: Modellierung, die gleichwertige ist mit der für den maritimen Bereich entwickelten Modellierung; es muss noch geprüft werden, ob diese Modellierung für den Binnenschiffssimulator verwendet werden kann Simulator F: wird demnächst auf der Grundlage eines empirischen Modells entwickelt
		- der Steuerstand muss mit dem Ankerknopf versehen sein; er muss generell einem modernen Steuerhaus entsprechen (siehe Punkt 2.1.1)	

1.1.3	Der Kandidat beherrscht die Fahrt unter folgenden Bedingungen: - bei klarem Wetter, bei Tag, Dämmerung und Nacht - bei eingeschränkter Sicht, Regen, Schnee, bei Tag, Dämmerung und Nacht - auf unterschiedlichen Wasserstraßen (Kanäle, frei fließende Flüsse usw.) - in Fahrwassern mit und ohne Strömung - bei unterschiedlichen Wasserständen - auf Seen - in Schleusen (Schrägaufzüge und Aufzüge, in Belgien verwendet) - in Mündungs- und Flussgebieten in Meernähe - in der Nähe von Küstengewässern - bei starkem Wind	- es sollten 3 oder 4 Wasserstände festgelegt werden, die auf mehreren, hinreichend langen und zur Darstellung der technischen Schwierigkeiten geeigneten Geländen, die Kanäle, Seen, Flüsse und Seeschiffahrtsstraßen darstellen, getestet werden können; Situationen mit unterschiedlichen Wasserständen sollten gegenüber unterschiedlichen Übungsgeländen bevorzugt werden - für die Prüfungen sollten echte Gelände verwendet werden	Vorbehaltlich einer genauen Festlegung des Programms für die praktische Prüfung
1.1.4	Der Kandidat kann mit - anderen Schiffen - der Schiffsverkehrskontrolle - nautischen Kunstbauwerken wie Brücken und Schleusen ordnungsgemäß kommunizieren		
1.1.5	Der Kandidat muss seine Manövrierfähigkeiten beim - Einfahren in eine Schleuse - Durchfahren einer Brücke - Durchqueren eines Flusses mit Strömung - Einfahren von einem Fluss mit Strömung in einen Hafen - Passieren einer Engstelle oder Verjüngung - Fest- und Losmachen in stehenden Gewässern und bei Strömung - Drehen des Schiffes mit und ohne Strömung - Ankern mit Buganker (1 und 2) - Ankern mit Bug- und Heckanker - Passieren festgemachter Schiffe mit beschränkter Geschwindigkeit und unter eingeschränktem Manövrieren - Begegnen und Überholen eines anderen Schiffes (§§ 6.03 bis 6.11		

	RheinSchPV) - Fahren im Rückwärtsgang unter Beweis stellen.		
1.1.6	Der Kandidat begreift die Abhängigkeit der Manövriermöglichkeiten von - der vorhandenen Wassertiefe im Verhältnis zum Tiefgang des Schiffes - der Geschwindigkeit des Schiffes - den Ladebedingungen (beladenes oder leeres Schiff) - der Stabilität des Schiffes (in Abhängigkeit von den Schifffahrtsverhältnissen, nicht der Beladung) - der Nähe von Wänden, Ufern, anderen Schiffen (Wechselwirkung)	Das mathematische Modell sollte zwei Beladungszustände (leer und beladen) berücksichtigen; Ziel: Nachweisen des Beherrschens der Auswirkungen eines Manövers auf die Schiffsstabilität	
1.1.7	Der Kandidat kann verschiedene Schiffstypen und Zusammenstellungen von unterschiedlicher Größe - mit ein oder zwei Antriebspropellern - mit Bugstrahlanlage - mit unterschiedlichen Motorleistungen fahren und manövrieren		
1.1.8	Der Kandidat muss auf der Grundlage des jeweiligen Wasserstands, der Brücken- (oder Kabel-)höhe und der Schiffshöhe für das Schiff eine sichere Durchfahrtshöhe berechnen können. Der Simulator zeigt einen Zusammenstoß an, wenn das Schiff unter den gegebenen Umständen die Brücke (oder das Kabel) nicht sicher passieren kann. Die jeweilige Höhe eines (vertikal) beweglichen Steuerhauses wird berücksichtigt.	Berücksichtigung des geometrischen Aspekts, nicht jedoch des Schiffsverhaltens	Die genaue Simulation der Absenkfunktion des Steuerhauses ist technisch schwierig. Bei Sandra erfolgt sie durch Absenken des Wasserstandes. Es stellt sich die Frage, ob diese Simulation ausreichend ist.
1.1.9	Der Kandidat lernt, eine Brücke mit Hilfe eines vertikal beweglichen Steuerhauses sicher zu durchfahren. Die Effekte durch die vertikale Bewegung (Senken und Heben der Augenstellung in der visuellen Datenbank, wechselnder Radarhorizont) werden berücksichtigt.		
1.1.10	Der Kandidat kann sicher und nach den für die Wasserstraße geltenden Polizeivorschriften navigieren.		

1.2 Modellierung

Die Modellierung ist grundsätzlich Sache des Lieferanten. Die Compliance Matrix sieht folgende Modelle vor:

1.,2	Mathematische Modelle der Simulatoren ñ Mindestanforderungen	Technische Konsequenzen	Anmerkungen/derzeitige Kapazitäten der Simulatoren
1.2.1	Hydrodynamisches Modell mit 6 Freiheitsgraden: 1. Vor/zurück 2. Links/rechts 3. Oben/unten (Tauchen) Wird für die Simulation des Begegnens, der Einengung des Fahrwassers und der abrupten Änderung der Tiefenlinien als notwendig erachtet 4. Gieren 5. Stampfen Wird für die Simulation der Navigation auf Seeschifffahrtsstrecken als notwendig erachtet 6. Rollen	Entsprechend den 6 Bewegungsarten des Schiffes Die 6 Freiheitsgrade werden als wichtig erachtet, wobei der 5. Grad im Vergleich zu den anderen Graden weniger wichtig erscheint	D: 6 Freiheitsgrade NL, B: 4 Freiheitsgrade (1, 2, 4, 6) F: derzeit 3 Freiheitsgrade (1, 2, 4), ein 4. Grad (6) wird gerade entwickelt; Das Tauchen kann derzeit lediglich der deutsche Simulator simulieren; Der belgische und der französische Simulator können das Tauchen nur auf Basis empirischer Formeln darstellen. Vorläufig könnten die Simulatoren das Tauchen auf Basis empirischer Formeln darstellen
1.2.2	Windmodell		
1.2.3	Strömungsmodell mit Strömungsschichten zur Simulation verschiedener Strömungsmuster je nach Wassertiefe unter dem Schiff		B und F: alternativ kann ein unbeladenes Schiff und ein beladenes Schiff bei gleicher Strömung verwendet werden
1.2.4	Bodenprofilmodell (Tiefenmessung)		
1.2.5	Gezeitenmodell		
1.2.6	Visuelle Modelle für Eigenschiffe und andere Verkehrsteilnehmer		
1.2.7	Visuelle Modelle für Navigationsbereiche (visuelle Datenbanken)		
1.2.8	Dynamisches Modell für Interaktionen zwischen Schiffen (Begegnen und Überholen)		

2. Funktionale Anforderungen/Arbeitsumgebung

2.1 Arbeitsplatz des Kandidaten

Der Arbeitsplatz des Kandidaten weist folgende Merkmale auf.

2	Mindestausstattung des Arbeitsplatzes des Kandidaten	Technische Konsequenzen	Anmerkungen/derzeitige Kapazitäten der Simulatoren
2.1.1	Die Brückengestaltung und die Ausstattung stimmen mit den von der Zentralkommission für den Rhein erlassenen Bau- und Ausrüstungsvorschriften für Binnenschiffe (den Schiffattesten) überein. Das Steuerhaus ist für Einmannsteuerung ausgelegt.	Gestaltung wie ein modernes Steuerhaus, in Übereinstimmung mit der RheinSchUO	
2.1.2	Ausrüstung und Konsolen sind wie in einem Schiff installiert, angebracht und angeordnet.		
2.1.3	Steuerung und Betrieb der Antriebsanlage, einschließlich Verständigungseinrichtung und Bugstrahlanlage. Es sind Anzeiger für Wellenumdrehungen und Propellerstellung vorgesehen. Sämtliche Propeller und mindestens ein Bugstrahlruder können unabhängig voneinander gesteuert werden.		
2.1.4	Steuerkonsole, einschließlich Einrichtungen für Handsteuerung und automatischer Steuerung mit Umschaltkontrolle. Ruderwinkel- und Wendeanzeiger müssen vorhanden sein.		
2.1.5	Kompass (oder Verstärker) mit einer Genauigkeit von mindestens einem Grad [auf Seeschiffahrtsstrecken vorgeschrieben].		
2.1.6	Mindestens ein Binnenschiffsradar, typgenehmigt		
2.1.7	Kommunikationsanlagen - interne Wechselsprechanlage - 2 unabhängige UKW-Funkverkehrssysteme, für Binnengewässer		
2.1.8	Inland ECDIS, typgenehmigt im Navigationsmodus		
2.1.9	Inland AIS (kann ggf. emuliert werden, realitätsgetreue Funktionalität)		
2.1.10	GPS (Global Positioning System)		
2.1.11	Echolot		

2.1.12	Instrument zur Anzeige der relativen Windrichtung und -kraft		
2.1.13	Vorrichtung zur Abgabe der vorgeschriebenen Schallsignale (durch Fußpedal(e))		
2.1.14	Navigationslichtertafel zur Kontrolle und Statusanzeige der Nachtsignale		
2.1.15	Maschinenalarmanlage		
2.1.16	Feueralarmanlage (optional)		
2.1.17	Vom Steuerstand steuerbare Suchscheinwerfer		
2.1.18	Verankerungsvorrichtung		
2.1.19	Das Modell soll die Hydrodynamik des Schiffes auf der Wasserstraße (einschließlich Wind-, Wellen-, Gezeiten- und Strömungseffekten) realitätsgetreu visualisieren.		
2.1.20	Das Modell soll die Hydrodynamik des Schiffes auf beengten Wasserstraßen (einschließlich der Wechselwirkung in Bezug auf Flachwasser, Ufer, andere Schiffe und Scherströmung) realitätsgetreu visualisieren.		
2.1.21	Der Simulator soll mathematische Modelle für mindestens fünf repräsentative Schiffstypen mit verschiedenen Antriebsmodellen umfassen, insbesondere - ein kleines Schiff (z. B. ein Schleppboot), - ein mittelgroßes Schiff (86 m), - ein großes Schiff (110 m bis 135 m), - eine Zusammenstellung, ein Schubverband aus 4 Leichtern.		

2.1.23	Die Radarsimulationsanlage modelliert Phänomene wie Wetter, Gezeiten, Strömung, Sichtschatten, Störungen und andere Effekte und muss Flussufer, Kanäle, Hafengebiete, Küsten und Schifffahrtszeichen generieren können.		
2.1.24	Der Simulator generiert realitätsgetreue Schiffsmotorengeräusche entsprechend der Antriebsleistung sowie Umgebungsgeräusche und andere Verkehrsgeräusche..		
2.1.25	Der Simulator ist so konzipiert, dass sämtliche Ankerverfahren realitätsgetreu durchgeführt werden können.		
2.1.26	Der Simulator kann mindestens 10 verschiedene Zielschiffstypen darstellen.		
2.1.27	Das Zielschiff ist mit Navigationslichtern, Signalkörpern und Schallsignalen gemäß den geltenden Verkehrsvorschriften ausgestattet. Der Prüfer kann jedes Signal individuell kontrollieren. Die Schallsignale sind gerichtet und lassen mit der Entfernung nach.		
2.1.28	Ein Schiff erzeugt während der Fahrt eine entsprechende Bug- und Heckwelle.		
2.1.29	Der Simulator muss zur Wiedergabe einer realitätsnahen Situation entsprechend dem befahrenen Abschnitt eine Mindestanzahl von Zielschiffen darstellen. Der Prüfer kann die Fahrtroute jedes Zielschiffes individuell programmieren. Folgende Zielschiffe sollen verfügbar sein: - 20-m-Schiff - 50-m-Schiff - 86-m-Schiff - 110-m-Schiff - 135-m-Schiff - Schubverband aus 4 Leichtern (oder: andere Zusammenstellungen gemäß den Anforderungen der RheinSchPV) - Schubverband aus 6 Leichtern - schnelles Schiff		

2.1.30	Der Simulator liefert ein realitätsgetreues visuelles Szenario bei Tag, Dämmerung und Nacht, einschließlich variabler, zeitlich wechselnder meteorologischer Sichtweite. Es können verschiedene Sichtbedingungen von dichtem Nebel bis klarem Wetter erzeugt werden. Der Simulator kann die Einflüsse von Regen und Schnee visuell und auf dem Radar darstellen.		
2.1.31	Das visuelle System bildet Bewegungen des Eigenschiffes nach.		
2.1.32	Das Visualisierungssystem ermöglicht für die jeweilige Übung eine flüssige und realistische Animation.		
2.1.33	Für Beobachtungen und Peilungen wird ein Binokularsystem verwendet. Seitliche Kameras		
2.1.34	Das visuelle System stellt die Außenwelt mit einer Rundum-Sicht von 360 Grad dar. Der horizontale Blickwinkel kann durch eine Sicht von mindestens 240 Grad erzeugt und der übrige Horizont (zur Bewegung der Kamera) geschwenkt werden. Dies kann mit einem Binokularsystem geschehen.		
2.1.35	Das visuelle System weist ein vertikales Sichtfeld von mindestens 30 Grad auf. Die Schiffswände und der Kai können während des Festmachens in irgendeiner Form beobachtet werden.		
2.1.36	Das visuelle System stellt alle Schifffahrtszeichen entsprechend der verwendeten Karten dar.		
2.1.37	Das visuelle System stellt Objekte hinreichend realitätsgetreu (d. h. detailliert genug für eine realistische Wahrnehmung) dar.		
2.1.38	Das visuelle System stellt Festmacher- und Schleppleinen hinreichend realitätsgetreu dar.	Mathematisches Modell zur Simulation der Leinenspannungen und der Reaktion des Schiffes	Funktion mit mathematischem Modell bei den Simulatoren NL, D und B vorhanden F: visuelle Darstellung, aber noch kein mathematisches Modell
2.1.39	Das Strömungsmodell mit den Strömungsschichten für verschiedene Strömungsmuster bei unterschiedlichen Wassertiefen unter dem Schiff beeinflusst das Verhalten des Schiffes in einer realistischen Weise.		
2.1.40	Es sind zeitabhängige Tidenhöhen entsprechend den tatsächlichen Gegebenheiten des jeweiligen Gebiets verfügbar.		
2.1.41	Die Simulation berücksichtigt auch die Tiefe entsprechend den verwendeten Karten und den Tidenwasserstand.		

2.1.42	Der Simulator kann optional zwei verschiedene Wellenspektren, die in Richtung, Höhe und Periode variabel sind, liefern (Seeschiffahrt).		In F nicht umgesetzt Nur bei einem Simulator mit 6 Freiheitsgraden möglich
2.1.43	Der Simulator beinhaltet mindestens ein Schiffsmodell mit einem Teleskop-Steuerhaus, das die Auswirkungen auf den Augpunkt in der visuellen Projektion und den Radarbildern zeigt.		Es genügt ein optischer Effekt, der die Auf- oder Abwärtsbewegung des Steuerhauses imitiert.
2.1.44	Das Simulator-Steuerhaus bietet zur Beobachtung der Handlungen des Kandidaten ausreichend Platz.		

2.2 Arbeitsplatz des Bedieners/ Prüfers

Der Arbeitsplatz des Bedieners/Prüfers weist folgende Funktionen auf:

#	Mindestausstattung des Arbeitsplatzes des Prüfers	Technische Konsequenzen	Anmerkungen/derzeitige Kapazitäten der Simulatoren
2.2.1	Neue Übungen erstellen und für künftige Zwecke speichern. Der Prüfer kann aus einer Reihe vorprogrammierter und archivierter Übungen wählen, die das gewählte TSHD-Modell sowie die Umgebung beinhaltet, u. a.: - andere Schiffe - Wassertiefe - Bodenart und -profil - Tageszeit - Sicht - Wind - Strömung - verschiedene Fahrgebiete (siehe 1.1.3)		
2.2.2	Übungen starten		
2.2.3	Leistung des Kandidaten überwachen (einschließlich Videobild der Operationen am Steuerstand)		
2.2.4	Eine laufende Übung stoppen und am Stoppzeitpunkt wieder starten		
2.2.5	Im Steuerhaus stattfindende Übungen, Gespräche und Aktivitäten zwecks späterer Wiedergabe aufzeichnen (einschließlich der Operationen am Steuerstand)		
2.2.6	Während einer Übung Lesezeichen setzen, um diese während der Nachbesprechung anspringen zu können		

2.2.7	Alle für die Nachbesprechung relevanten Daten protokollieren (einschließlich einer Übersichtskarte zur Situation vor Übungsbeginn und nach Übungsende)		Sandra: Funktionalität nicht vorgesehen NL, B, F: Funktionalität vorgesehen
2.2.8	Dem Bediener/Prüfer müssen zusätzliche, vom Steuerhaus des Kandidaten räumlich getrennte Räume zur Verfügung stehen.		
2.2.9	Der Arbeitsplatz des Bedieners/Prüfers ist für die Kommunikation mit dem Kandidaten mit mindestens zwei UKW-Funkgeräten und einer Wechselsprechanlage ausgestattet. Der Bediener/Prüfer kann bei sich sehen, auf welchem UKW-Kanal der Kandidat arbeitet. Der Bediener/Prüfer kann sehen, welche Sprechstelle der Kandidat anruft.		
2.2.10	Der Bediener/Prüfer kann die Kurse vorprogrammierter Zielschiffe zwecks angemessener Optimierung der Wechselwirkung zwischen dem Verhalten des Schiffes des Kandidaten und dem Verhalten anderer Schiffe beeinflussen (üblicher Kurs von Berg- und Talfahrern nach Navigationspunkten und mit realitätskonformen Geschwindigkeiten).		
2.2.11	Das Verhalten der Zielschiffe (Manövereigenschaften) soll realitätsgetreu sein.		
2.2.12	Der Simulator deckt ununterbrochen Wasserstraßen ab, welche die zu bewertenden technischen Schwierigkeiten bieten.		
2.2.13	Es sind Übungsgebiete verfügbar, in denen die für die verschiedenen Modelle relevanten Manöver durchgeführt werden können. Die visuelle Datenbank umfasst mindestens die unter Punkt 1.1.3 genannten Fahrgebiete.		
2.2.14	Der Bediener/Prüfer kann während einer Übung Umwelteffekte hervorrufen (Wind, unsichtiges Wetter, meteorologische Verhältnisse, Helligkeit).		

2.3 Debrief-Arbeitsplatz

Der Prüfer hält an einem gesonderten Debriefplatz oder, sofern es die ergonomischen Verhältnisse zulassen, am Platz des Bedieners/Prüfers eine Nachbesprechung.

#	Funktion	Compliance	Anmerkungen
2.3.1	Eine laufende Übung stoppen und am Stoppzeitpunkt wieder starten		
2.3.2	Übungen zwecks Wiedergabe aufzeichnen (einschließlich der Operationen am Steuerstand)		
2.3.3	Während einer Übung Lesezeichen setzen, um diese während der Nachbesprechung anspringen zu können		
2.3.4	Alle für die Nachbesprechung relevanten Daten protokollieren		

3 Betriebsparameter

Während des Simulationsverfahrens wird eine Vielzahl von Betriebsparametern verwendet. Die Liste der Parameter umfasst u. a.:

- alle Parameter, die für die einzelnen Prüfungssituationen verwendet werden,
- alle Parameter, die die Prüfungskommission während der Prüfung verwendet (z. B. Umwelteffekte),
- die Parameter, die während der Simulation selbst verwendet werden,
- die Parameter, die für die Speicherung und Nachbesprechung verwendet werden.

Die Gesamtliste der von der Prüfungskommission beeinflussbaren Parameter und der für die Nachbesprechung erforderlichen Parameter bildet die Grundlage für die Zertifizierung von Prüfungssimulatoren.

Anhang 3: Niederländische Erkenningsrichtlijn Radarsimulator (2011)

Erkenningsrichtlijn Radarsimulator

Vastgesteld CvD 29 september 2011

CCV is eigenaar van deze richtlijn.
Voor vragen kunt u contact opnemen met:
Een productmanager van de afdeling Examenontwikkeling van CCV
Deze versie is voor het laatst gewijzigd op 7 november 2011. Voor de meest actuele versie vragen wij u contact op te nemen met bovenstaande personen.

Algemeen

De afdeling Binnenvaart van CCV verzorgt in Nederland de examens die leiden tot het Radarpatent.

Het praktijkgedeelte van het examen vindt plaats in een simulatoromgeving. In de voorliggende notitie is vastgelegd aan welke criteria radarsimulatoren moeten voldoen om te kunnen worden ingezet als examenlocatie. Het doel is de verzekering bieden dat de simulator/simulaties een voldoende realistisch niveau hebben, in overeenstemming met de exameneisen.

Als blijkt dat de radarsimulator voldoet aan de in deze richtlijn gestelde eisen stuurt CCV een bevestiging, waaruit blijkt dat de radarsimulator is goedgekeurd en is toegelaten als examenlocatie. Het certificaat is vijf jaar geldig. Op verzoek van de beheerder/eigenaar van de radarsimulator wordt het certificaat van goedkeuring op voordracht van de TC Radar door CCV verlengd. CCV kan hiervoor een nieuwe audit afnemen.

Als tussentijds blijkt dat de simulator niet meer voldoet aan de in deze richtlijn gestelde eisen neemt CCV contact op met de beheerder/eigenaar. Indien het een aanpassing betreft, geeft CCV een schriftelijke motivatie. Na twee contactmomenten op initiatief van CCV en een aanpassingstijd van twee maanden bestaat de mogelijkheid dat CCV de bevoegdheid intrekt.

Deze notitie geeft criteria voor de (fysieke) inrichting, de hardware en de software. De criteria worden voorafgegaan door een korte beschrijving van de examensituatie.

Momenteel worden in CCR-verband eisen opgesteld voor een full mission binnenvaartsimulator. Zodra deze eisen zijn vastgesteld en gericht zijn op examens, zal door CCV worden gekeken welke eisen daarvan relevant zijn voor een radarsimulator.

Beschrijving van de examenorganisatie

Het praktijkexamen wordt afgenomen door middel van een simulator. Wanneer de examenkandidaat in de stuurhut het voorgelegde vaarprogramma op de simulator aflegt, is hierbij een examiner aanwezig. In een aparte operatorruimte zijn aanwezig de operator, een of meerdere examinatoren en een dagvoorzitter (aantal examinatoren afhankelijk van het aantal stuurhutten). De examinatoren volgen de verrichtingen van de kandidaat op de schermen in de stuurhut en in de operatorruimte. De schermen in de operatorruimte (de uitkijk) zijn een weergave van het radarscherm in de stuurhut.

Eisen met betrekking tot de fysieke inrichting

Stuurhuis

1. Het stuurhuis moet functioneel ingericht zijn zoals bedoeld in het reglement onderzoek schepen op de Rijn 1995 (ROSR), de richtlijn 2006/87/EG of het Binnenvaartbesluit (BVB).
2. Het stuurhuis moet functioneel ingericht zijn volgens de Europese norm CEN/TC15 N 163 D.
3. Het stuurhuis moet functioneel ingericht zijn als een eenmansstuurstelling als bedoeld in de in lid 1 genoemde regelgeving.
4. Het stuurhuis moet ingericht zijn met twee 'VHF-installaties'¹ geschikt schip--schip verkeer en voor nautische informatie. Tevens moet een intercom systeem / portofoon aanwezig zijn voor de communicatie binnen het schip.
5. Het stuurhuis (c.q. het vanuit dit stuurhuis te bedienen simulatorscheepsmodel) moet minimaal ingericht zijn met de volgende navigatiemiddelen:
 - stuurmachine met mogelijkheid voor weg- en tijdafhankelijk of stuurautomaatbediening
 - actieve boegbesturing (kopschroef, minimaal tweewegsysteem)
 - 2 bedieningshandels voorstuwingsinstallatie
 - bediening achteranker(s)
 - dieptemeter
 - Inland-ecdis (uitsluitend in informatiemodus)
 - Inland AIS²
6. In het stuurhuis moet voldoende ruimte zijn zodat een examiner de verrichtingen van de kandidaat duidelijk kan volgen, alsmede een schrijfmogelijkheid met voldoende (locale) verlichting.

Simulator / Bedieningsruimte

7. Er moet een afzonderlijke ruimte zijn waarin de operator en examiner(en) kunnen plaatsnemen, waarbij de examiner het radarbeeld van de examenkandidaat moet kunnen waarnemen.
8. De stuurhut(ten) en de operatorruimte moeten allen gescheiden van elkaar zijn en zoveel mogelijk geluiddicht.
9. Zowel de stuurhut als de operatorruimte moeten zijn ingericht met twee marifoons, die functioneel voldoen aan de eisen voor de binnenvaart.
10. De operator moet duidelijk kunnen zien op welk marifoonkanaal de examenkandidaat werkt, zonder dat hij daarvoor veel handelingen moet verrichten.
11. Vanuit de operatorruimte moeten de voor navigatie belangrijke parameters van elk examenschip waarneembaar zijn. De parameters welke minimaal zichtbaar moeten zijn: roerstand, bochtaanwijzer, blauw bord cq knipperlicht, voortstuwing, richting en omw./min en fluitlicht.

¹ Tussen haakjes omdat de installatie het VHF-verkeer simuleert.

² Inland AIS is verplicht voor nieuwe en verbouwde simulatoren. Zodra Inland AIS wettelijk verplicht is, zal het ook voor de bestaande simulatoren verplicht zijn.

Eisen met betrekking tot de hardware

1. De gevaren examenopdracht moet kunnen worden opgeslagen en nadien kunnen worden afgespeeld. Ook de gesprekken via de marifoon tussen de kandidaat en de instructeur moeten opgenomen worden.³
2. De radarinstallatie moet voldoen aan de eisen voor de binnenvaart.
3. Per operator mogen maximaal vijf stuurhutten worden bediend.

Eisen met betrekking tot de software

1. Tijdens het examen mogen de vaarprogramma's van de kandidaten niet aan elkaar gekoppeld zijn.
2. Er moet sprake zijn van een realistisch radarbeeld. De kwaliteitseisen voor de presentatie van het radarbeeld zijn gelijk aan de eisen in de eerder genoemde regelgeving voor type goedgekeurde binnenvaartradarinstallaties.
3. Er dient ten minste sprake te zijn van een twee-dimensionaal stromingsbeeld, waarbij de stromingsrichting en stromingskracht van plaats tot plaats kunnen verschillen.
4. De radarecho van de doelschepen moet realistisch worden weergegeven. Het gedrag van doelschepen moet realistisch zijn (bijvoorbeeld manoeuvreergedrag – inclusief achteruitvaren en echo).
5. Alle doelschepen met een lengte van >20 m moeten op het radarbeeld gepresenteerd worden met de Inland-AIS gegevens. Deze AIS-gegevens moeten per schip uitgeschakeld kunnen worden.⁴

Er moeten een aantal soorten doelschepen en 'examenschepen' zijn. In het examen moeten minimaal een 20-meter schip (zowel als snel schip en 'normaal'⁵) en een 110-meter schip aanwezig zijn. Het 110-meterschip moet zowel leeg als geladen kunnen worden ingesteld. In het examen moeten doelschepen aanwezig zijn. Een 20, 50, 80, 110 meter schip, een 4 – baks, een 6 – baks duwstel en een zeeschip (bv 175 x 35 m) zijn de doelschepen. Tevens moet er een snel schip als doelschip zijn opgenomen. Deze schepen hoeven niet allemaal in 1 oefening te zitten, maar moeten wel op de simulator ingesteld kunnen worden.

Overige eisen

1. De examenopdrachten voor de radarsimulator Binnenvaart moeten aan een aantal eisen voldoen. De eisen staan geformuleerd in het document 'Eisen aan de examen oefening Radar Praktijk'. In bijlage 1 is het document toegevoegd.
2. Voordat een examenopdracht ingezet mag worden, moet deze eerst door CCV zijn goedgekeurd. De procedure is beschreven in het document 'Procedure goedkeuring examenopdrachten Radar Praktijk'. In bijlage 2 is het document toegevoegd.
3. Er moet geëxamineerd worden volgens de regels zoals die zijn vastgelegd in de wettelijke regelingen en de daarvan afgeleide reglementen.
4. Indien regelmatig wordt geëxamineerd kan CCV meer dan het minimale aantal examen oefeningen eisen.

³ Dit is verplicht voor nieuwe en verbouwde simulatoren.

⁴ Inland AIS is verplicht voor nieuwe en verbouwde simulatoren. Zodra Inland AIS wettelijk verplicht is, zal het ook voor de bestaande simulatoren verplicht zijn.

⁵ Ten behoeve van radarexamens 'kleine schepen'.

BIJLAGE 1: Procedure goedkeuring examenopdrachten Radar Praktijk

Doel: Alleen door CCV goedgekeurde examenopdrachten mogen worden ingezet voor het praktijkexamen Radar. Goedkeuring van een examenopdracht verloopt via onderstaande procedure. De productmanager van de afdeling examenontwikkeling van CCV is verantwoordelijk. Alle communicatie verloopt dan ook via de productmanager.

Aanleiding kan zijn:

- behoefte CCV nieuwe / aangepaste examenopdracht. Er zal dan gezamenlijk een plan van aanpak worden gemaakt.
- eigen initiatief opleider. CCV geeft kaders mee waar de nieuwe examenopdracht aan moet voldoen.

Actie	Wie	Documenten / benodigdheden
1. Het opleidingsinstituut stuurt de beschrijving van de examenopdracht naar CCV, t.a.v. de afdeling Examenontwikkeling. Deze beschrijving bevat minimaal de onderstaande punten: - Doel van de opdracht - Soort schip waarmee gevaren wordt - Beschrijving traject dat wordt afgelegd - Beschrijving stroomrichting (eb- of vloedstroom) - Beschrijving van de doelschepen (naam en type schip en wanneer hij start) - Overzichtskaart	Opleidingsinstituut	Beschrijving examenopdracht Radar Praktijk
2. De beschrijving van de examenopdracht wordt door CCV gecontroleerd op volledigheid. In het geval de beschrijving niet volledig of duidelijk is, wordt dit door CCV teruggekoppeld worden aan het betreffende opleidingsinstituut. Als alle documenten aanwezig zijn, wordt er een ontvangstbevestiging gestuurd.	CCV, afdeling Examenontwikkeling	Beschrijving examenopdracht Radar Praktijk Terugkoppeling ontbreken / onduidelijke informatie Ontvangstbevestiging
3. De beschrijving van de examenopdracht wordt naar de Technische Commissie Radar gestuurd. De Technische Commissie Radar geeft een eerste beoordeling aan de afdeling examenontwikkeling op basis van de beschrijving. Indien dit een positief beeld is, wordt doorgegaan naar stap 5.	Technische Commissie Radar	Beschrijving examenopdracht Radar Praktijk Terugkoppeling negatieve beoordeling door Technische Commissie Radar
4. Indien de Technische Commissie Radar een negatieve beoordeling geeft, dan zal dit door CCV worden teruggekoppeld aan het betreffende opleidingsinstituut.	CCV, afdeling Examenontwikkeling	Terugkoppeling negatieve beoordeling door Technische Commissie Radar

5. Onder gedelegeerde verantwoordelijkheid van de Technische Commissie Radar wordt de nieuwe examenopdracht op de simulator van het opleidingsinstituut gevaren.	Technische Commissie Radar	Beschrijving examenopdracht Radar Praktijk Examenopdracht op de simulator
6. Indien er wijzigingen in de examenopdracht noodzakelijk zijn n.a.v. punt 5, dan zal dit door CCV worden teruggekoppeld. Afhankelijk van het soort opmerkingen zullen één of meerdere van voorgaande stappen opnieuw moeten worden doorlopen.	CCV, afdeling Examenontwikkeling	Terugkoppeling wijzigingen door Technische Commissie Radar
7. Als de Technische Commissie akkoord gaat met de nieuwe examenopdracht, zal de beschrijving van de examenopdracht ter accordering worden voorgelegd aan het College van Deskundigen Binnenvaart.	College van Deskundigen Binnenvaart	Beschrijving examenopdracht Radar Praktijk
8. Indien het College van Deskundigen van mening is dat de nieuwe examenopdracht niet voldoende is, dan zal dit door CCV worden teruggekoppeld. Afhankelijk van het soort opmerkingen zullen één of meerdere van voorgaande stappen opnieuw moeten worden doorlopen.	CCV, afdeling Examenontwikkeling	Terugkoppeling negatieve beoordeling door College van Deskundigen Binnenvaart
9. Indien het College van Deskundigen Binnenvaart de nieuwe examenopdracht accordeert, wordt dit per brief door CCV teruggekoppeld.	CCV, afdeling Examenontwikkeling	Bevestigingsbrief geaccordeerde examenopdracht
10. Informeren examinatoren / voorzitters over nieuwe examenopdracht.	CCV, afdeling Examenontwikkeling	
11. De examenopdracht mag worden gebruikt voor het praktijkexamen Radar.	Opleidingsinstituut	Examenopdracht op de simulator

Definities

- College van Deskundigen: Orgaan dat beroepsprofielen, toetsmatrijzen, items, praktijkopdrachten, examens en examenreglementen vaststelt. Kan gevraagd en ongevraagd adviezen uitbrengen aan CCV omtrent interpretatie en toepassing van het certificatieschema.
- Technische Commissie: Commissie ter ondersteuning van het College van Deskundigen. Ontwikkelt voorstellen voor toetsmatrijzen en beoordeelt items, cases, praktijkopdrachten en examens voordat deze ter goedkeuring aan het College van Deskundigen worden voorgelegd.

Indien er in de Technische Commissie of College van Deskundigen partijen zitten die gebonden zijn aan een opleiding / school, dan zullen deze leden zich onthouden van commentaar met betrekking tot de examenopdrachten. Dit om de onafhankelijkheid en objectiviteit te kunnen waarborgen

BIJLAGE 2: Voorschriften examenopdracht Radar Praktijk

Inleiding

Alleen door CCV goedgekeurde examenopdrachten mogen worden gebruikt tijdens het Radar Praktijkexamen. Dit document beschrijft de eisen waar een examenopdracht Radar Praktijk aan moet voldoen.

Eisen aan de examenopdracht Radar Praktijk

1. De duur van een examenopdracht bedraagt minimaal 45 minuten en maximaal 55 minuten.
2. Er zijn minimaal 8 examenoefeningen
3. Het examenschip heeft de Radar op het achterschip staan en de diepgang is kleiner of gelijk aan 2,75 meter.
4. Er zijn minimaal 2 vaargebieden van 25 kilometer met stroming.
5. De vaargebieden moeten over tenminste één of meerdere van de onderstaande elementen beschikken, zodat een realistisch Radarbeeld ontstaat:
 - Brug
 - Sluis
 - Havenmonding (linker- en rechteroever)
 - Vaarwegversmalling
 - Overspanning
 - Vaarweg kruising
6. Een opdracht bevat in de basis tussen de 20 en 40 doelschepen. Afhankelijk van het traject kan besloten worden hiervan af te wijken. Een 20, 50, 80, 110 meter schip, een 4 – baks, een 6 – baks duwstel en een zeeschip (bv 175 x 35 m) zijn de doelschepen. Tevens moet er een snel schip als doelschip zijn opgenomen. Deze schepen hoeven niet allemaal in 1 oefening te zitten.
7. In een examenopdracht moet ten minste één bijzondere situaties zijn opgenomen, zoals:
 - Zichtbeperkende omstandigheden, zoals genoemd in BPR/RPR
 - Een blindganger
 - Een schip dat van achter oploopt⁶
 - Ontmoeten Snel schip zoals fast ferry, RWS en RP.
 - Stuurboord / Stuurboord passage
 - Uit- invaren Hoofd- / Neven vaarwater en Vaarwaters van gelijk belang.
 - Oversteken veerpont
 - Vertrek doelschip vanaf meer- of ankerplaats waarna deelname aan verkeer
 - Kopvoor nemen of opdraaien
8. Een opdracht moet de benodigde veelzijdigheid en complexiteit hebben, zodat de volgende punten tijdens het examen kunnen worden beoordeeld:
 - Vertrek en bijzondere verrichtingen
 - Positie in het vaarwater
 - Bochtentechniek
 - Omgaan met passages en obstructies
 - De vaarsnelheid
 - Ontmoeten en oplopen
 - Communicatie
 - Observatie / interpretatie radarbeeld
 - Aanpassen van het radarbereik
 - Anticiperen op bijzondere situaties

⁶ Bedoeling hiervan is dat indien een kandidaat zijn snelheid niet aanpast aan de mogelijkheden (expres laag houdt om situaties te ontlopen) deze met een oploper wordt geconfronteerd. Er moet zoveel mogelijk worden voorkomen dat er daadwerkelijk wordt opgelopen omdat dit meestal leidt tot problemen voor de operator m.b.t. de posities van overige kandidaten.

Algemene eisen

- Er moet geëxamineerd worden volgens de regels, zoals die zijn vastgelegd in de wettelijke regelingen.
- De examenopdrachten of nagenoeg lijkende kopieën mogen niet gebruikt worden voor opleidingsdoeleinden.
- De dagvoorzitter wijst vóór het examen de te examineren opdracht aan.
- De gevaren opdracht moet kunnen worden opgeslagen en nadien kunnen worden afgespeeld. Ook de gesprekken tussen kandidaat en instructeur via de marifoon moeten opgenomen worden en kunnen gelijktijdig met de gevaren opdracht worden beluisterd.

Beschrijving examenopdracht

Van iedere examenopdracht dient een beschrijving aanwezig te zijn. Deze beschrijving bevat minimaal de onderstaande punten:

- Doel van de opdracht
- Beschrijving traject dat wordt afgelegd (vertrekpunt, bestemmingen route, hoofd en/of nevenvaarwater)
- Beschrijving stroomrichting (eb- of vloedstroom)
- Beschrijving van de doelschepen (type schip, scheepsnaam, beladingsgraad en tijdstip start)
- Overzichtskaart
- Soort schip waarmee gevaren wordt
 - Algemeen Radarexamen; 110 meter schip leeg of geladen of
 - Algemeen radarexamen; "klein schip"
 - Radarexamen Snelle Schepen; 20 meter snel schip