

Zusammenfassung

Die Veranlassung für die vorliegenden Untersuchungen war der Donauausbau zwischen Straubing und Vilshofen. Ziel der Untersuchungen war, die Grenzen für die Schifffahrt bei einem Ausbau der Donau mit flussregelnden Maßnahmen ohne Staustufen zu bestimmen. Dabei war eine der zentralen Fragestellungen die Bestimmung der erforderlichen Fahrrinnenbreiten. Ein exaktes Dimensionierungsverfahren für frei fließende Wasserstraßen existierte nicht. Der Gedanke war die Fahrrinnenbreiten soweit wie möglich zu reduzieren, um im Gegenzug ein Optimum an zusätzlich möglicher Abladetiefe zu erhalten.

Um die Fragen zu beantworten, wurden Schifffahrtsuntersuchungen im Maßstab 1 : 25 in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München durchgeführt. Die Aufgabenstellung war die Bestimmung der erforderlichen horizontalen Sicherheitsabstände und der erforderlichen Fahrrinnenbreiten in der Geraden. Anschließend wurde das Versuchsprogramm durch Untersuchungen in einer Krümmung mit einem Radius von 500 m erweitert. Dort wurde vor allem der Einfluss der Querprofilform auf die nautischen Eigenschaften bestimmt.

Zu Anfang der Versuche musste der Versuchsmaßstab 1 : 25 auf mögliche Maßstabeffekte untersucht werden. Dazu wurden Vergleichsuntersuchungen zwischen Modell und Natur bzw. mit einem zweiten Modellmaßstab durchgeführt. Die Versuchsreihen zeigten für den Maßstab 1 : 25 eine gute Übereinstimmung des Begegnungsverhaltens und der raumbedeutsamen Kenngrößen zur Natur. Bei der Leistungsübertragung ergaben sich zähigkeitsbedingte Maßstabseinflüsse, was zu einem erhöhten Leistungsbedarf im Modell führt. Auf die Aussagekraft hinsichtlich der gestellten Fragen hat dies keine maßgebenden Auswirkungen.

Nachdem die Eignung des Maßstabes 1 : 25 für die Untersuchungen bestätigt war, konnte mit dem eigentlichen Versuchsprogramm begonnen werden. Das Versuchsprogramm umfasste dabei drei Schwerpunktthemen.

- Einfahrten in der Geraden zur Bestimmung des Sicherheitsabstandes zu Buhnen und Uferböschungen.
- Begegnungsversuche in der Geraden für verschiedene Begegnungskonfigurationen.
- Einfahrten in der Krümmung mit unterschiedlichen Querprofilformen.

Mit dem Programm wurde eine umfangreiche Parameterstudie, bei der die hydraulischen (Strömungsgeschwindigkeit, Fließtiefe), die geometrischen (Fahrrinnenbreiten, Buhnenabstände, Böschungsneigungen usw.) und die nautischen Randbedingungen (Schiffstyp, Abladetiefe, Einzelfahrer, Begegnung, Fahrtrichtung, Schiffsgeschwindigkeit

usw.) variiert wurden, durchgeführt. Entscheidendes Kriterium bei allen Versuchen war das Auffinden der Grenzsituation, bis zu der Fahrten ohne Havarien möglich sind. Für die Einzelfahrer wurde eine einfache aber effektive Versuchssystematik entwickelt, die den Schiffsführer zwingen ständig in einer Grenzsituation zu fahren und auch mehrere gleichartige Wiederholungsfahrten ermöglicht.

Mit der Parameterstudie wurden die maßgebenden Randbedingungen und deren Einfluss auf das Fahrverhalten ermittelt. Aus den Versuchen in der Geraden konnten folgende Erkenntnisse gezogen werden:

Einzelfahrer in der Geraden:

- Mit größer werdendem Bühnenabstand und kleinerem Verhältnis zwischen Bühnenlänge und Bühnenabstand, werden größere Sicherheitsabstände benötigt. Mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit wird dieser Einfluss verstärkt.
- Durch das Verlanden von Bühnenfeldern werden die erforderlichen Sicherheitsabstände größer.
- Mit steiler werdender Uferbegrenzung können auch die Sicherheitsabstände verringert werden.
- Die Sicherheitsabstände sind eine Funktion der Schiffsgeschwindigkeit durchs Wasser.

Begegnung in der Geraden:

- Für die Begegnung werden mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit und abnehmender Fahrrinntiefe die erforderlichen Fahrrinnenbreiten größer.
- Mindertiefen an den Fahrrinnenrändern durch sog. „Unterhaltstreifen“ von 5 m Breite und 1 m Höhe bewirken praktisch keine Erhöhung des Kollisionsrisikos.

Mit dieser Auswertung lässt sich aber nur eine relativ ungenaue Aussage über die Sicherheit der Wasserstraße treffen. Daher wurden in einem zweiten Schritt mit einer statistischen Auswertung die Sicherheitsabstände bzw. Fahrrinnenbreiten durch Kollisionswahrscheinlichkeiten charakterisiert. Ebenso kann der Rechenweg umgedreht werden und für eine vorgegebene Kollisionswahrscheinlichkeit der Sicherheitsabstand bzw. die Fahrrinnenbreite berechnet werden.

Zu den Eigenschaften der Sicherheitsabstände ist festzuhalten, dass sich die Sicherheitsabstände von Einzelfahrern und Begegnungssituationen deutlich unterscheiden. Während für den Einzelfahrer der Sicherheitsabstand zum Ufer für eine dauerhafte, auf eine

Strecke bezogene Fahrsituation bestimmt werden muss, ist der Sicherheitsabstand zum Ufer bei der Begegnung nur für einen kurzen Zeitpunkt maßgebend. Dadurch ergibt sich ein entscheidender Unterschied der beiden Sicherheitsabstände, die somit nicht miteinander vergleichbar sind.

Der Sicherheitsabstand für den Einzelfahrer ergibt sich aus einem mittleren Abstand zum Ufer, der noch Schwankungen zur Uferseite hin zulässt. Die Schwankungsbreite wird dabei von den Randbedingungen in der Wasserstraße beeinflusst. Die maximale Schwankungsbreite wird durch die Differenz aus mittlerem Abstand und einem minimalen Abstand bestimmt. Zum minimalen Abstand, der aus mehreren Versuchsfahrten gemittelt wird, lassen sich die Kollisionswahrscheinlichkeiten berechnen. Über einer aus den Versuchen festgestellten Abhängigkeit zwischen mittlerem Abstand und dem minimalen Abstand, kann nun der Sicherheitsabstand mit einer Kollisionswahrscheinlichkeit charakterisiert werden. Dadurch werden die Sicherheitsabstände zu den verschiedenen Randbedingungen miteinander vergleichbar, bzw. kann für eine Kollisionswahrscheinlichkeit der Sicherheitsabstand bestimmt werden.

Der Zusammenhang zwischen minimalem und mittlerem Abstand ist dabei von wenigen Parametern abhängig. Aus den Versuchen ergibt sich lediglich eine Abhängigkeit der Uferbegrenzung (Böschung oder Buhnen, Buhnenabstand).

Bei der Begegnung ist die nahe Heranfahrt an das Ufer auf einen relativ kurzen Moment beschränkt. Ebenfalls ist es nicht sinnvoll hier einen mittleren Abstand zu definieren, da ein bewusstes Fahrmanöver durchgeführt wird, bei dem die Abstände sich verändern. Somit gibt es auch keine Schwankungen. Betrachtet man die Begegnung als punktuell Ereignis, so fallen der mittlere Abstand und der minimale Abstand zusammen. Der minimale Abstand bildet für die Begegnung den Sicherheitsabstand zu den Ufern. Für diesen lassen sich auch wieder die Kollisionswahrscheinlichkeiten berechnen.

Bei der Begegnung gibt es aber nicht nur eine Kollision zwischen Schiff und Ufer, sondern auch zwischen den Schiffen. Der Sicherheitsabstand wird aus dem minimalen Abstand zwischen den Schiffen bestimmt. Über einen für die Begegnungssituation spezifischen Zusammenhang zwischen Abstand zwischen den Schiffen und dem Raumbedarf kann der Raumbedarf in Abhängigkeit der Kollisionswahrscheinlichkeit Schiff – Schiff bestimmt werden. Aus den Sicherheitsabständen zu den Ufern plus dem Raumbedarf ergibt sich die erforderliche Fahrrinnenbreite für die Begegnung.

Die Berechnung der Kollisionsrisiken kann anhand von Naturuntersuchungen oder aus Daten von Modelluntersuchungen erfolgen. Der Vorteil der Modelluntersuchungen liegt in der einfacheren Veränderung der Randbedingungen und der kostengünstigeren

Versuchsdurchführung. Der größte Vorteil, der groß angelegte Naturuntersuchungen praktisch unmöglich macht, liegt in der Tatsache, dass während der Versuche Havarien provoziert werden, um die Grenzen zu finden.

Bei den Einzelfahrversuchen konnten bereits einige Verallgemeinerungen der Aussagen gefunden werden. Die Übertragung auf andere Schiffstypen steht jedoch noch aus. Für die Bestimmung der erforderlichen Fahrrinnenbreiten für den Begegnungsverkehr müsste ebenfalls eine Erweiterung auf andere Schiffstypen erfolgen. Wichtig wäre vor allem die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Raumbedarf und Abstand für weitere Begegnungskonfigurationen.

Mit der Methode zur Dimensionierung der Fahrrinne auf Basis von Kollisionswahrscheinlichkeiten ist das Ziel eines ökonomischen Ausbau oder Neubau einer Wasserstraße einfacher zu erreichen. So können z.B. die Kollisionsrisiken, die sich an einer zulässigen Unfallrate als Standard orientieren, anhand des zu erwartenden Verkehrsaufkommens bestimmt werden.

Einzelfahrer in der Kurve:

Die Kurvenfahrten dienen hauptsächlich zur Bestimmung des Einflusses der Querprofilform auf die nautischen Eigenschaften. Im Modell wurden Versuche mit einem „donautypischen“ Dreiecksprofil mit einem Trapezprofil verglichen. Der Gedanke hinter der Umgestaltung zum Trapezprofil liegt in der Verbreiterung der Fahrrinne in der Krümmung. Die Versuche hatten zum Ergebnis, dass die Talfahrt im Trapezprofil aufgrund von geringeren erforderlichen Fahrspurbreiten günstig beeinflusst wird. Für die Bergfahrt werden durch die Umgestaltung in ein Trapezprofil die fahrdynamischen Randbedingungen verschlechtert. Bei z.B. donautypischen Randbedingungen kann dies dazu führen, dass die Schiffe nicht mehr zu Berg fahren können. Durch die Umgestaltung kann für den Bergfahrer ein fahrdynamischer Engpass entstehen. Die beim Dreiecksprofil vorhandenen Übertiefen werden in der Bergfahrt von der Schifffahrt benötigt. Zu starke Einschränkungen der Tiefen zur Verbreiterung der Fahrrinne sollten nicht erfolgen. Dies ist z.B. auch bei Kolkverbaumaßnahmen zu beachten.

Für die Kurvenfahrt allgemein ergab sich das Verhältnis von Fließtiefe h zu Abladetiefe T (h/T -Verhältnis) als der maßgebende Einflussfaktor auf die erforderlichen Fahrrinnenbreiten. Begründen lässt sich dies mit dem erforderlichen Aufbau einer Stützkraft zur Kompensation der Fliehkräfte in der Kurvenfahrt. Die Stützkraft wird durch eine Vergrößerung des Driftwinkels erreicht. Je größer der Abstand zwischen Schiff und Sohle wird, umso schwieriger wird es jedoch die Stützkraft aufzubauen. Dadurch wird ein größerer Driftwinkel notwendig.