

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Feierfeil, Tim

Ermittlung notwendiger Fahrrinnenbreiten auf Basis von Naturmessungen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102306>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Feierfeil, Tim (2015): Ermittlung notwendiger Fahrrinnenbreiten auf Basis von Naturmessungen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Wechselwirkung Schiff/Wasserstraße mit Auswirkungen auf Nautik und schiffsinduzierte Belastungen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 45-51.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Ermittlung notwendiger Fahrrinnenbreiten auf Basis von Naturmessungen

Tim Feierfeil M.Eng., Ingenieurbüro Kauppert, Karlsruhe

Einleitung

Die Bemessung von Wasserwegen, also Fahrrinnen in natürlichen Gewässern und künstliche Wasserstraßen, erfolgte historisch anhand von Erfahrungswerten oder Naturversuchen. Derzeit werden verschiedene Verfahren zur Bemessung des Verkehrsflächenbedarfs von Binnenschiffen genutzt, die folgende *Tabelle* gibt hierzu eine Übersicht der Verfahren mit deren Anwendungsgebieten (Söhngen et al., 2014):

Tabelle 1: Übersicht derzeitiger Bemessungsverfahren

Verfahren	Beispiele	Anwendungsgebiet
Schiffsführungssimulation	ANS5000/ BAW, SANDRA/DST	Ausbausituationen, Schleusenneubauten, Brückendurchfahrten, etc.
Fast-Time-Simulations	PeTra2d (BAW), SHIPMA (Marin)	Variantenuntersuchungen, Ausbaustudien
Trassierungsverfahren	Trasse (BAW),	(Vor-)Studien zu Wasserstraßenplanungen, v.a. Stillwasser und Kanäle
Naturversuch	-	Ein- und Ausfahrbedingungen, Validierung vorgenannter Verfahren
Extrapolation von Naturdaten	EMP (BAW)	Bemessung für nicht zu beobachtende Situation, Variantenuntersuchungen, Betrachtung von Grenzsituationen

Moderne Verfahren wie Schiffsführungssimulationen oder Fast-Time-Simulations ermöglichen die Berechnung des Verkehrsflächenbedarfs eines Schiffes, weisen jedoch häufig Defizite bei der Interaktion Schiff-Schiff und Schiff-Wasserstraße oder bei Grenzsituationen wie geringen Kieflfreiheiten auf. Dadurch können Verkehrssituationen mit mehreren beteiligten Schiffen nur unzureichend hinsichtlich des hierfür notwendigen Raumbedarfs mit einem dieser Verfahren untersucht werden. Zudem erlaubt die Rechenintensivität eines Schiffsführungssimulators zumeist nur wenige Variantenvergleiche und die Untersuchung von kurzen Relationen.

Bei der Untersuchung des Verkehrsflächenbedarfs auf Wasserstraßen über eine längere Strecke und mit mehreren am Schiffsverkehr beteiligten Fahrzeugen muss daher auf andere Verfahren zurückgegriffen werden. In der Bundesanstalt für Wasserbau wurde für solche Anwendungsgebiete das semi-empirische Verfahren „EMP“ zur Fahrrinnenbreitenbemessung entwickelt, ursprünglich im Rahmen des Neckarausbaus für das 135m lange üGMS, um dort die Fahrspur eines heute in der Strecke üblichen GMS auf die eines üGMS zu extrapolieren zu können (Söhngen et al., 2011).

Bei der Methode erfolgt die Approximation der aufgetretenen Fahrspurbestandteile einer Messfahrt und deren Extrapolation auf einen nicht beobachteten Zustand sowie die abschließende Zusammensetzung der berechneten Anteile zu einer prognostizierten Fahrspur. Hierdurch können auch Situationen untersucht werden, die in der Natur nicht beobachtet wurden, wie die Befahrung mit großen Schiffstypen, die derzeit in einer Wasserstraße noch nicht zugelassen sind. Zusätzlich wurden Ansätze zur Abschätzung des zusätzlichen Breitenbedarfs von Binnenschiffen bei der Interaktion mit Böschungen und anderen Fahrzeugen entwickelt um Begegnungssituationen und ufernahe Fahrten abbilden zu können.

Werden die Fahrspuren mehrerer Fahrzeuge samt allen zugehörigen Zusatzbreiten addiert, so ergibt sich eine notwendige Fahrrinnenbreite für die jeweils betrachtete Situation. Dieses Verfahren wird im Folgenden erläutert.

Grundlagen der Fahrrinnenbemessung

Die Fahrspur eines Binnenschiffs setzt sich aus mehreren Anteilen zusammen. In der Geradeausfahrt ohne zusätzlichen Querströmungseinfluss sind dies in erster Linie die Schiffsbreite b_S , jedoch auch ein Anteil aus dem „human-factor“, die sogenannte Schlängelfahrtbreite Δb_{FS} . Hierbei handelt es sich zumeist um verzögerte oder ungeeignete Reaktion des Schiffsführers auf die Instabilität des Schiffskurses. In der Kurvenfahrt ergibt sich ein zusätzlicher Breitenbedarf durch das Ausschwenken des Schiffhecks, dieser ist vor allem von der Schiffslänge und dem gefahrenen Radius abhängig, enthält jedoch auch Anteile durch einen Sekundärströmungseinfluss. Durchfährt das Schiff ein Querströmungsfeld, ergibt sich eine Vergrößerung der Fahrspur durch die Abdrift des Schiffes oder durch die Einnahme eines Driftwinkels zum Ausgleich des Querströmungseinflusses. Manöver wie Begegnungen, ufernahe Fahrten und ähnliches rufen ebenfalls einen weiteren Breitenbedarf aus, da die Betrachtung dieser Größen jedoch im vorgestellten Verfahren getrennt erfolgt, werden diese auch hier erst später behandelt. Die benötigte Fahrrinnenbreite für ein einzelnes Fahrzeug wird mit ihren Anteilen in *Bild 1* dargestellt und setzt sich demnach wie folgt zusammen:

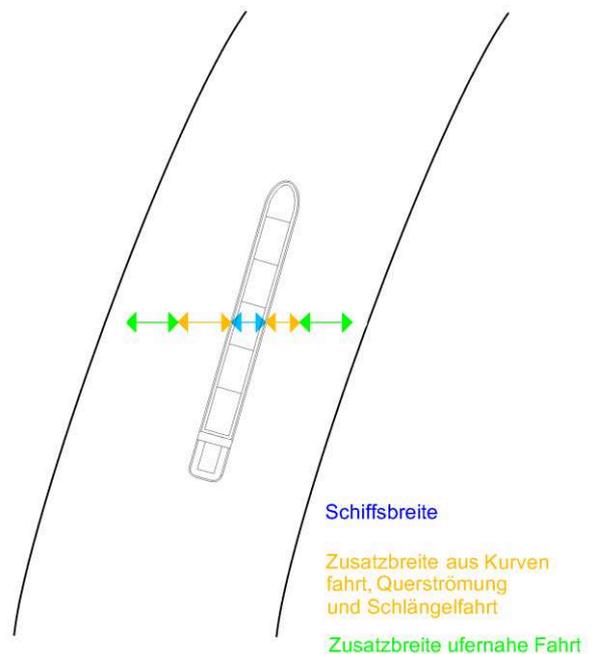


Bild 1: Breitenbestandteile bei der Einzelfahrt eines Binnenschiffes

$$b_{FR} = \Delta b_{Ufer,li} \text{ bzw. } \Delta b_{Buhne,li} + b_S + \Delta b_K + \Delta b_T + \Delta b_{SF} + \Delta b_{Ufer,re} \text{ bzw. } \Delta b_{Buhne,re}$$

Fahrspurermittlung im Naturversuch

Als Grundlage zur späteren Berechnung der Fahrspurbreite für einen bemessungsrelevanten Abfluss erfolgt die Messung der Fahrspur eines Binnenschiffes bei einem Referenzzustand. Hierbei wird ein Fahrzeug mit mehreren GPS-Empfängern ausgerüstet, die die Schiffspositionen mit aktuellem Zeitbezug speichern, und anschließend die Versuchsfahrt durchgeführt. Aus den einzelnen, gemessenen Positionen kann, in Verbindung mit den Standpunkten der GPS-Geräte auf dem Schiff, eine Schleppkurve erstellt werden. Aus dieser können direkt Größen wie Fahrspurbreite, Schiffsgeschwindigkeit und Kurs einschließlich der gefahrenen Radien ermittelt werden.

Fahrspurberechnung mit EMP

Das semi-empirische Verfahren zur Fahrinnenbreitenbemessung EMP basiert darauf, die Fahrspurbreite, die ein Fahrzeug bei einer realen Fahrt benötigte, anhand geometrischer und hydraulischer Parameter in ihre vorgenannten Bestandteile zu zerlegen und diese im Anschluss auf die Prognosesituation zu extrapolieren. Zur Aufspaltung der in einem Naturversuch ermittelten Fahrspurbreite in einzelne Breitenanteile erfolgt eine Analyse der Fahrspur, zuvor muss die Fahrspur jedoch vom Einfluss des sogenannten „human-factors“ bereinigt werden. Hierzu erfolgt eine Analyse mit CfAA, einer Software, die von F. Ritzert (2010) im Auftrag der BAW entwickelt wurde, bei der anhand der Frequenz der Pendelbewegungen des Schiffskurses kurzperiodische Einflüsse durch Instabilitäten aufgedeckt werden können. Diese durch den Schiffsführer hervorgerufenen Zusatzbreiten werden von der beobachteten Fahrspur abgezogen, so dass im Anschluss die verbleibende Breite in Schiffsbreite, Einfluss durch Kurvenfahrt und Querströmung getrennt werden kann. Zur Bestimmung dieser deterministischen Anteile muss nun die Kursachse des Schiffes mit einem mehrdimensionalen, numerischen Strömungsmodell verschnitten werden, hierdurch werden Parameter wie Wassertiefe, Strömungsgeschwindigkeiten und deren Komponenten ermittelt. Der Verschnitt erfolgt entweder mit einem Modell, das für den jeweiligen, bei der Messfahrt vorherrschenden Wasserstand erstellt wurde, oder anhand von Modellergebnissen, die nahe beim betrachteten Zustand liegen und zwischen denen im Anschluss interpoliert wird. Sind diese Größen vorhanden, kann mit der Bestimmung der Zusatzbreite durch Kurvenfahrt begonnen werden, wofür der taktische Drehpunkt des Schiffes berechnet werden muss. Dieser wird vom sogenannten Cf-Wert beschrieben und gibt an, wie der Schiffskörper einem angelegten Schiffskurs folgt, die benötigten Parameter hierzu wurden durch Niesler (2012) nach der Auswertung zahlreicher Messfahrten beschrieben. Gemeinsam mit dem geometrisch ermittelten Radius R aus der Versuchsfahrt und zugehöriger Schiffs- und Strömungsgeschwindigkeiten kann schließlich der Anteil aus der Kurvenfahrt Δb_K an der Schleppkurvenbreite ermittelt werden.

Durch Kenntnis der Strömungsgeschwindigkeit in zwei Dimensionen aus Modelldaten kann ein eventueller Anteil Δb_T durch Querströmungseinflüsse berechnet werden. Hier wird die Zusatzbreite durch den Driftwinkel bestimmt, der notwendig ist, um die angreifende Querströmung auszugleichen.

Im Anschluss kann eine Prognose der ermittelten Werte auf eine bemessungsrelevante Situation durchgeführt werden. Um die hierfür notwendigen Daten zu erhalten, erfolgt ein Verschnitt der Kursachse mit Strömungsdaten des Bemessungszustandes. Die zuvor berechneten Parameter Δb_K und Δb_T können nun anhand der veränderten Strömungs- und Tiefendaten auf den Prognosezustand übertragen werden. Die während des Naturversuchs aufgetretenen Instabilitäten durch den „human-factor“, werden, solange ein Schwellenwert überschritten wird, für die Prognose übernommen. Trat während des Versuchs eine Schlängelfahrtbreite auf, die unterhalb des durch ingenieurwissenschaftliche Auswertung von Modellversuchen des US Army Corps of Engineering (1982) bestimmten mindestens anzusetzenden Wertes liegt, erfolgt die Berechnung einer prognostizierten Schlängelfahrtbreite nach der Theorie von Söhngen wie von Fischer et al. (2014) erläutert. Die Ergebnisse einer Prognose der Messdaten eines GMS (110x11,45m) auf ein üGMS (135x17m) sind in *Bild 2* dargestellt. Links erkennt man in rot die ursprüngliche Fahrspurweite eines GMS, schwarz die hierauf basierend prognostizierte Fahrspurweite eines üGMS. Rechts ist die Veränderung der einzelnen Anteile der Fahrspur abgebildet, man erkennt die geringe Veränderung von Δb_T von Messung (grün) zu Prognose (gelb). Aufgrund der Schiffslänge, die quadratisch in die Berechnung von Δb_K eingeht, ist hier der Anstieg von Messung (rot) zu Prognose (schwarz) wesentlich stärker ausgeprägt und hauptverantwortlich am starken Anstieg der benötigten Fahrinnenbreite.

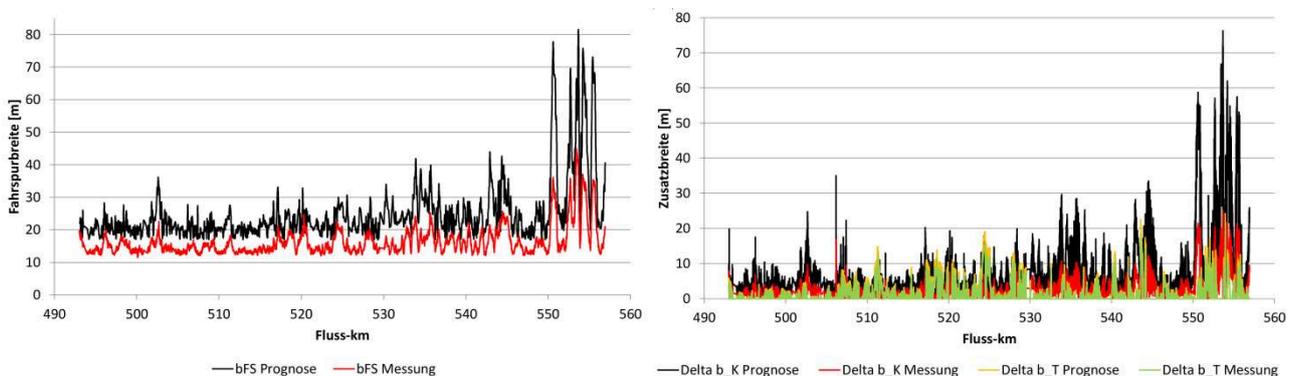


Bild 2: Prognose- und Messungswerte bei der Prognose eines GMS (110x11,45m) auf ein üGMS (135x17m) bei Hochwassermarke I

Berechnung der Zusatzbreiten für Begegnungen, Überholungen und ufernahe Fahrten

Im Anschluss erfolgt die Berechnung von Zusatzbreiten, die im Naturversuch nicht ermittelt wurden, jedoch für die meisten Verkehrssituationen relevant sind. Hierzu zählen Zusatzbreiten, die Fahrzeuge infolge hydraulischer Vorgänge bei der Begegnung, Überholung und ufernahen Fahrt erfahren wie von Feierfeil (2015) im Rahmen seiner Master-Thesis untersucht wurde, aber auch solche, die durch strömungsinduzierte Turbulenz an Buhnen erzeugt werden, wie von Feierfeil (2013) im Auftrag der BAW untersucht wurde.

Die Approximation solcher Breiten erfolgt anhand der im Naturversuch ermittelten Schiffsgeschwindigkeit, jedoch für Positionen innerhalb der Fahrrinne, an denen Begegnungen möglich sind und solchen, die einen worst-case hinsichtlich der Buhnenturbulenz und Ufernähe darstellen, in der Regel die vorhandene Fahrrinnenberandung. Unter Berücksichtigung der Querschnittsverhältnisse des Bemessungszustandes und der Schiffsgeometrie erfolgt die Berechnung der gesuchten Größen hektometerweise. Bei Vorhaltung der erwarteten Zusatzbreiten und deren Einhaltung durch den Schiffsführer kann auch von Sicherheitsabständen gesprochen werden. Diese liegen bei üblichen Flachwasserverhältnissen bei etwa einer halben Schiffsbreite bei Begegnungen sowie ufernahen Fahrten und etwa einer Schiffsbreite für Überholungen sowie Sicherheitsabständen zu Buhnen.

Berechnung der notwendigen Fahrrinnenbreite

Im Anschluss erfolgt die Aufsummierung der einzelnen Fahrrinnenbreitenbestandteile für die jeweilige Situation. Bei der Betrachtung einer Begegnung mit zwei beteiligten Fahrzeugen sind dies:

$$b_{FR} = \Delta b_{Ufer,li} \text{ bzw. } \Delta b_{Buhne,li} + b_{S1} + \Delta b_{K1} + \Delta b_{T1} + \Delta b_{SF1} + \Delta b_{Beg} + b_{S2} + \Delta b_{K2} + \Delta b_{T2} + \Delta b_{SF2} \\ + \Delta b_{Ufer,re} \text{ bzw. } \Delta b_{Buhne,re}$$

Eine beispielhaft berechnete Zusammensetzung einer benötigten Fahrrinnenbreite befindet sich in *Bild 3*. Hier wurde die Begegnung zweier Schubverbände mit den Abmessungen 193x22,9m bei Hochwassermarken I im Bereich des Mittelrheins untersucht.

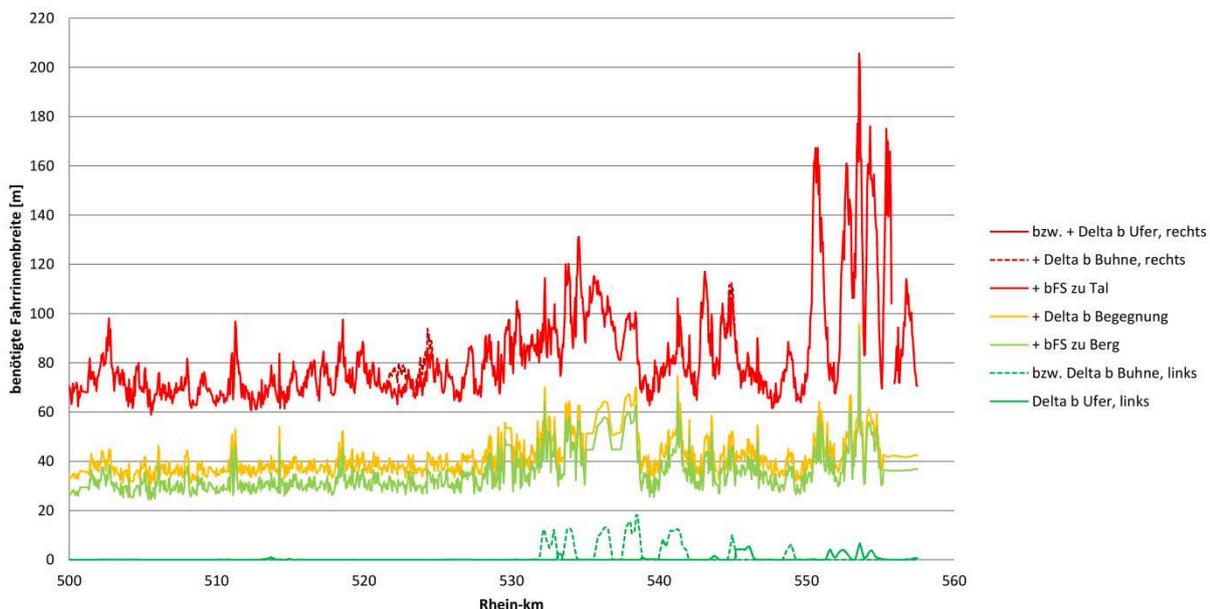


Bild 3: Prognose des Breitenbedarfs bei der Begegnung zweier Schubverbände (193x22,9m) bei Hochwassermarken I

Zur Validierung des Verfahrens sind zahlreiche Berechnungen durchgeführt worden (Söhngen et al., 2014). Hierbei wurden beispielsweise die Messdaten eines GMS auf die Fahrsituation eines 2er-Schubverbandes prognostiziert und mit Messdaten einer Fahrt, die nahezu identisch mit der prognostizierten Situation lag. Ein weiterer Vergleich lag in der Prognose einer Messfahrt, die bei Mittelwasser (MW) stattfand auf eine Fahrt beim höchsten schiffbaren Wasserstand (HSW). In beiden Fällen lagen die Unsicherheiten in einem Bereich unter 10m. Eingedenk der im Verkehrswasserbau üblichen Breiten liegen diese Unsicherheiten in einem vertretbaren Bereich.

Anwendung am frei fließenden Rhein

Derzeit wird das Verfahren zur Überprüfung der vorhandenen Fahrrinnenbreiten am frei fließenden Rhein genutzt. Hierbei werden verschiedene Verkehrssituationen bis hin zu vierspurigem Verkehr für Abflüsse zwischen GIQ und HSQ untersucht. Für den Mittelrheinabschnitt bedeutet dies, dass im Vorfeld über 100 fahrdynamische Messfahrten durchgeführt wurden, von denen 28 Fahrten zur Auswertung ausgewählt und auf insgesamt 146 Fahrten prognostiziert wurden. Hieraus ergeben sich 25 mögliche Begegnungskombinationen für jeden betrachteten Abfluss. Die bisher erzielten vorläufigen Ergebnisse bestätigen die vorhandene Fahrrinnenbreite für die betrachteten Situationen und die Verkehrsregelungen der Wahrschaustrecke. Dies zeigt auch *Bild 3*, hier wird nur an einer Stelle die vorhandene Fahrrinnenbreite von 120m außerhalb der Wahrschaustrecke überschritten, und zwar an einer bekannten Engstelle. Innerhalb der Wahrschaustrecke ist eine Begegnung solcher Fahrzeuge unmöglich, wie auch durch die Rheinschiffahrtspolizeiverordnung untersagt.

Zusammenfassung

Die Entwicklung der Methode EMP und deren Verknüpfung mit Ansätzen zur Approximation von Zusatzbreiten durch Begegnungen, Überholungen, ufernahen Fahrten und Bühnenfeldpassagen ermöglicht die Bemessung von Fahrrinnen über einen großen Bereich und mit mehreren beteiligten Fahrzeugen. Dadurch wird auch die Berechnung des Raumbedarfs für komplexe Verkehrssituationen wie drei- und mehrspurigen Verkehrs möglich. Aufgrund der Extrapolation von Messwerten, die im Naturversuch bei möglichst ähnlichen Bedingungen gewonnen werden, liegen die Unsicherheiten bei diesem Verfahren in einem für die Fahrrinnenbemessung sehr geringen Bereich. Derzeit erfolgt mit dem vorgenannten Verfahren die Berechnung des Fahrrinnenbreitenbedarfs am frei fließenden Rhein.

Literatur

- Feierfeil, T. (2013): Bericht zu den Zusatzbreiten von Binnenschiffen durch Bühnenfeldpassage und Bühnenfeldentwässerung, Karlsruhe
- Feierfeil, T. (2015): Zusatzbreiten Begegnungen, Überholungen und ufernahe Fahrten, Master-Thesis, Darmstadt
- Fischer, N., Söhngen, B., Treiber, M. (2014): Modeling and simulating traffic flow on inland waterways, PIANC World Congress XXXIII, San Francisco
- Niesler, H. (2012): Untersuchungen zum Cf-Wert, Auswertungsbericht beauftragt durch die Bundesanstalt für Wasserbau, Ingenieurbüro Schmid, Kapsweyer
- Ritzert, F. (2010): Analyse der Pendelfrequenz und –amplitude von GPS-Vermessungen der Route eines GMS, Karlsruhe
- Söhngen, B., Feierfeil, T., Paprocki, M. (2014): Semi-empirische Untersuchungen zur Mindestbreite der Fahrrinne am Rhein, Duisburger Kolloquium Schiffstechnik/Meerestechnik, 2014
- US Army Corps of Engineers (1982): Channel widths in bends and straight reaches between bends for push towing; Technical Report HL-82-25, Army Engineer Waterway Experiment Station; Vicksburg, Mississippi