

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Gronarz, Andreas

Anwendung von Schiffsführungssimulationen für die nautische Bewertung

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102311>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Gronarz, Andreas (2015): Anwendung von Schiffsführungssimulationen für die nautische Bewertung. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Wechselwirkung Schiff/Wasserstraße mit Auswirkungen auf Nautik und schiffsinduzierte Belastungen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 79-85.

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.



Anwendung von Schiffsführungssimulationen für die nautische Bewertung

Dr.-Ing. Andreas Gronarz, Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme Duisburg (DST)

Einleitung

Zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit bei der Befahrung von Binnenwasserstraßen ist die Echtzeit-Simulation ein anerkanntes und bewährtes Werkzeug. Dies wird sowohl bei der Analyse von gegebenen Szenarien als auch bei der Planung von künftigen Infrastrukturen eingesetzt. Besonders geeignet ist die Simulation zum Variantenvergleich, bei dem es nicht um absolute Ergebnisse, sondern um die Unterschiede in der Befahrung bei Änderung verschiedener Randbedingungen wie z.B. Ausbauzustand, Strömungsgeschwindigkeit, Schiffslänge usw. geht. Eine hierfür geeignete Anlage steht mit dem Simulator SANDRA (**S**imulator for **A**dvanced **N**avigation **D**uisburg – **R**esearch and **A**pplication) des DST zur Verfügung und wird seit der Errichtung im Jahre 2008 sehr erfolgreich für nautische Projekte eingesetzt.

In dieser Betrachtung werden von den vielen die Simulation betreffenden Themen zwei spezielle Bereiche behandelt: der Einfluss der Probanden auf das Simulationsergebnis (human effect) und die Auswahl der Auswertemethodik. Für beide Punkte ist es wichtig, ein geeignetes „Versuchs“-programm aufzustellen, welches sowohl inhaltlich als auch zeitlich optimiert ist, um mit möglichst geringem Aufwand (= Kosten) zu einem bestmöglichen Ergebnis zu gelangen. Hierzu ist eine genaue Analyse der Aufgabenstellung erforderlich, verbunden mit einer beratenden Diskussion mit dem Kunden, um eine für die spezielle Problematik und die erwarteten Ergebnisse angepasste Simulation vorbereiten zu können.

Einfluss des Probanden

Ziel bei einer Simulationsserie mit Variation verschiedener Randbedingungen sollte es immer sein, die Ergebnisse unabhängig von den Eigenheiten der Schiffsführer zu machen – es sei denn, diese persönlichen Unterschiede sind selbst Ziel der Simulationen. So können Unterschiede in den Simulationsergebnissen mit Schiffsführer A auf einem 110 m Schiff zwar mit denen von Schiffsführer B auf einem 135 m Schiff verglichen werden, aber Rückschlüsse auf die Abhängigkeit von der Schiffslänge können guten Gewissens nicht gezogen werden, da der zweite Parameter (der Schiffsführer) ebenfalls die Resultate beeinflusst, und zwar in unbekannter Größe.

Im Folgenden werden zwei Varianten betrachtet, mit dem Einfluss des Probanden umzugehen.

A) Mehrere Schiffsführer und wiederholte Fahrten

Die größte Sicherheit bei den Ergebnissen kann man erzielen, wenn die unbekannt Einflüsse statistisch abgesichert werden können. Statistisch bedeutet, dass man aus einer Vielzahl eine Einzahl ableitet, wobei durch geeignete Verfahren wie Mittelwertbildung das Ergebnis der unterschiedlichen Untersuchungen zu einer einzelnen Aussage zusammengefasst werden. Mit einer großen Anzahl von Probanden kann der human effect weitgehend ausgeschaltet werden, wobei der Grad der Qualifikation der einzelnen Steuerleute ein möglichst großes Spektrum umfassen sollte. Bei den Untersuchungen des DST werden jedoch keine „Anfänger“ eingesetzt, sondern gestandene Kapitäne, die über einschlägige Berufserfahrung mit den eingesetzten Schiffstypen verfügen. Mit ein Grund für diese Verfahrensweise ist die personelle Verfügbarkeit, denn aktive Schiffsführer sind schlechter einzuplanen als solche, die sich schon im Ruhestand befinden.

Eine zusätzliche Steigerung der Aussagekraft von Simulationsergebnissen ist die mehrfache Wiederholung der Fahrten. Dies ist wirtschaftlich nur möglich, wenn das zu untersuchende Problem sehr begrenzt ist und damit eine schnelle Abfolge und ein hoher Durchsatz möglich ist.

Bei den Untersuchungen an der Mittleren Brücke in „Basel“ (2011) wurden auf Wunsch des Kunden sechs Schiffsführer (4 Baseler Lotsen und 2 Rheinkapitäne) eingesetzt und jede Fahrt dreimal ausgeführt. Die eigentlichen Variationsparameter der Untersuchung waren Strömungsgeschwindigkeit (Pegelstand), Schiffslänge und Abladung. In *Bild 1* sind die Einzelergebnisse sowie die Mittelwertbildungen für eine bestimmte Auswertegröße dargestellt.

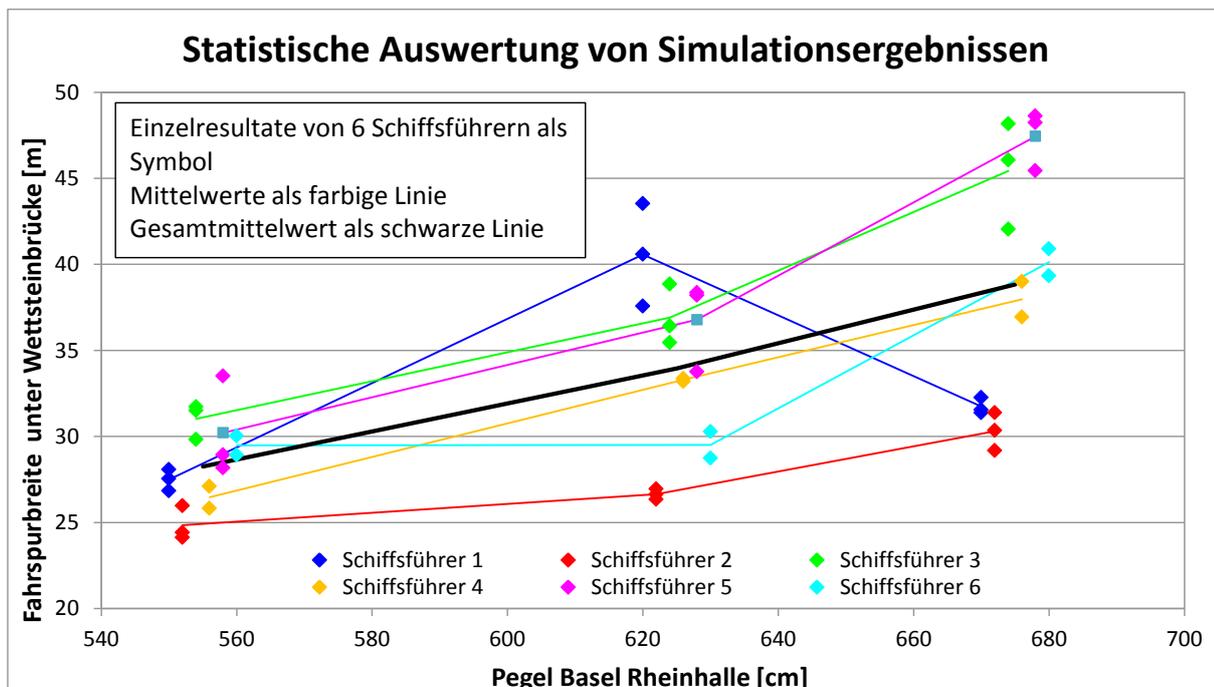


Bild 1: Statistische Auswertung einzelner Simulationsergebnisse

Obwohl die einzelnen Daten relativ stark streuen, gibt sich aus der Mittelwertbildung doch eine klare Linie. Diese Tendenz ist so eindeutig, dass bei der Endauswertung über die Variationsparameter sehr klare Abhängigkeiten herausgestellt werden konnten, wie in *Bild 2* zu erkennen ist.

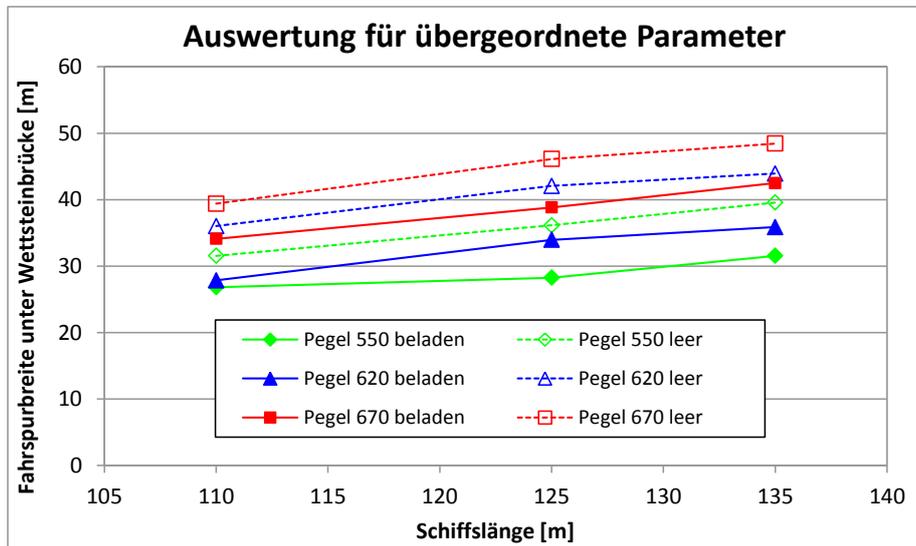


Bild 2: Gesamtergebnis für eine Auswertegröße

B) Ein einzelner Schiffsführer für alle Fahrten

Die größte Sicherheit bei den Ergebnissen kann man erzielen, wenn die unbekannt Einflüsse durch die Eigenheiten verschiedener Kapitäne generell ausgeschlossen werden können, indem alle Fahrten von einem Schiffsführer durchgeführt werden. Diese Reduzierung auf nur noch eine Person hat jedoch auch Nachteile, wovon hier drei betrachtet werden:

1. Mögliche Überlastung des Schiffsführers

Obwohl professionelle Kapitäne eine kontinuierliche Tätigkeit im Steuerhaus gewohnt sind, ist schwer zu beurteilen, inwieweit die besondere Belastung bei Simulatorfahrten mit bewusst erhöhtem Schwierigkeitsgrad gegenüber dem normalen Berufsleben das gewünschte Gesamtergebnis verfälschen kann. Um dies möglichst weit auszuschließen, ist es angebracht, zu Beginn und zum Ende eines Tages leichtere Fahrten vorzusehen, um Leistungstiefs durch morgendliche Eingewöhnung und abendliche Übermüdung zu kompensieren. Auch während des Tages sollten die Anspruchsniveaus wechseln und nur für einen direkten Vergleich aufeinanderfolgende Steigerungen des Schwierigkeitsgrades vorgenommen werden.

2. Trainingseffekt

Es ist unvermeidbar, dass nach Kennenlernen einer Situation jeder Schiffsführer bei der Bewältigung Fortschritte macht und folgende Fahrten immer besser absolviert. Beim Projekt „Donau Degendorf-Winzer“ (2012) wurden bei den verschiedenen Szenarien etliche Fahrten mit gleichen Randbedingungen ausgewertet und die Ergebnisse in zeitlicher Abfolge aufgetragen. Für einen

Parameter sind die Resultate in *Bild 3* dargestellt, wobei eine abklingende Potenzfunktion den feststellbaren Trainingseffekt wiedergibt. Daraus folgt, dass gute Ergebnisse am Ende einer Simulationskampagne genauso wenig überbewertet werden dürfen wie vermeintlich schlechte bei der ersten Befahrung eines Szenarios zu negativ gesehen werden sollten.

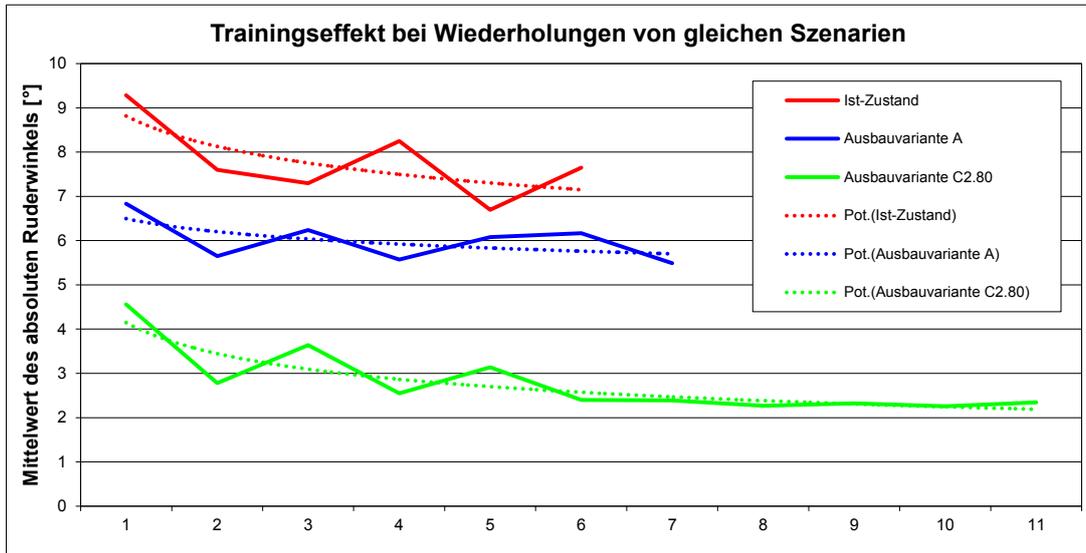


Bild 3: Trainingseffekt bei Wiederholungen

3. Überqualifikation für das Szenario

Die wiederholte Konfrontation des Schiffsführers mit einer relativ schwierigen Situation führt dazu, dass dieser Kapitän am Ende hervorragende Leistungen erbringt, die bei Parametervariationen zwar untereinander vergleichbar sind, im Gesamtbild jedoch nicht mehr auf die Realität übertragen werden können. Durch das intensive Training werden Fähigkeiten herangebildet, die von einem Schiffsführer im täglichen Berufsleben nicht erreicht werden können. Dies gilt sowohl für „Anfänger“ als auch erfahrene „Profis“ – Training verbessert (vor allem am Anfang, siehe *Bild 3*) die Qualifikation. Aus diesem Grund zu beachten, dass Aussagen über die Schwierigkeit eines bestimmten Szenarios am Simulator immer zu höherer Erschwernis hin abgestuft werden müssen, um auf die Allgemeinheit übertragen werden zu können. Ein Maß für diese Reduktion ist schwer anzugeben, aber im Bereich von 10% - 20% anzusetzen.

Auswertemethodik

Für jede Aufgabenstellung ist eine angepasste Auswertemethodik erforderlich, um mit moderatem Simulationsaufwand ein belastbares Ergebnis zu erzielen.

Bei dem Projekt „Donau Deggendorf-Winzer“ (2012) ging es um eine Abschätzung der in den Ausbauvarianten zu erwartenden Unfallrisiken im Vergleich mit dem Ist-Zustand. Hierzu wurden auf allen drei Szenarien Simulationen mit vergleichbaren Zusammenstellungen der Umweltbedingungen und beteiligten Schiffe durchgeführt.

Dabei wurden z.B. Mindestabstände von Bojen und Fahrwassergrenzen bestimmt und mit Daten aus der existierenden Unfallstatistik bezüglich Bojenanfahrungen und Grundberührungen außerhalb des Fahrwassers korreliert. Dadurch konnten unter Berücksichtigung des zu erwartenden Verkehrsaufkommens zu erwartende Unfallhäufigkeiten für die Ausbauzustände bestimmt werden.

Bei dem aktuellen Projekt „Donau Straubing-Bogen“ (2015) soll die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs in der geplanten Ausbauvariante mit dem Ist-Zustand verglichen werden. Die Problematik besteht darin, aus den aufgezeichneten Fahrtdaten numerische Größen zu ermitteln, um diese Untersuchungsziele mit aussagekräftigen Zahlen bewerten zu können. Hier hat sich die Definition von „Reserven“ als gut herausgestellt – je höher die Reserve ist (Max = 100%), umso leichter war die Befahrung. Einzelne Reserven werden im Folgenden vorgestellt und diskutiert.

Ruderwinkelreserve – Der mittlere absolute Ruderwinkel einer Fahrt wird mit dem maximal möglichen Ruderwinkel verglichen. Je geringer das Ergebnis, umso leichter war die Fahrt und umso größer ist die Reserve.

$$R_d = 1 - \frac{|\hat{d}|}{d_{max}}$$

Bugstrahlreserve – Der mittlere aufgewendete Schub wird mit dem Maximalschub verglichen.

$$R_B = 1 - \frac{\hat{T}}{T_{max}}$$

Drehzahlreserve – Die mittlere verwendete Maschinendrehzahl wird mit der Maximaldrehzahl verglichen. Dieser Wert ist allerdings problematisch, da Fahrten mit höherer Grundgeschwindigkeit als riskanter (geringere Reserve) eingestuft werden.

$$R_n = 1 - \frac{\hat{n}}{n_{max}}$$

Ruderaktivitätsreserve – Die mittlere absolute Ruderwinkeldifferenz pro Zeittakt einer Fahrt wird mit der maximal möglichen Ruderlegegeschwindigkeit verglichen. Null würde bedeuten, dass das Ruder die gesamte Zeit immer von Vollausschlag zu Vollausschlag hin- und her bewegt wurde. Diese Reserve eignet sich zur Bewertung der Anspannung des Schiffsführers.

$$R_r = 1 - \frac{|\Delta \hat{d} / \Delta t|}{\dot{d}}$$

Während die zuerst genannten Werte direkt aus den aufgezeichneten Daten bestimmt werden können, beruhen andere Reserven auf zusätzlichen Berechnungen, für die die Schiffsumrisse sowie exakt definierte Punkte im Fahrtgebiet wie Bojen, Brückenpfeiler oder Fahrinnenbegrenzungen herangezogen werden. Diese berechneten Entfernungen müssen durch Verrechnung mit einer zu wählenden Konstanten so umgewandelt werden, dass sie auch in den Wertebereich 0% (sehr schlecht) bis 100% (sehr gut) fallen. Die verwendeten Konstanten sind Testwerte für das aktuelle Projekt.

Bojenabstand – der geringste Abstand eines Punktes des Schiffsumrisses zu einer der vorhandenen Bojen einer Fahrt wird mit dem maximal ermittelten Bojenabstand aller Fahrten verglichen. Damit werden Bojenanfahrungen erfasst (0%).

$$A_{Bo} = \frac{\min(Abst_{Fahrt})}{\max(Abst_{Alle})}$$

Brückenpfeilerabstand – Hier wird berechnet, inwieweit das Schiff sich außerhalb der optimalen Mittelposition (100%) befindet. Die Anfahrung eines Pfeilers ergibt 0%.

$$A_{Br} = \frac{\min(y_{Bb}, y_{Stb})}{0.5 \cdot (W_{Brücke} - B_{Schiff})}$$

Fahrspurbreite – Die mittlere Fahrspurbreite wird mit der Schiffsbreite verglichen. Hier der Kehrwert, damit Werte zwischen 0% und 100% berechnet werden.

$$A_{Spur} = \frac{B_{Schiff}}{\overline{y_{Spur}}}$$

Für den letzten Auswerteparameter wurde eine relativ komplizierte Methode entwickelt, die welche eine gute Aussage über die Ausnutzung der vorhandenen Verkehrsfläche gibt. Für jeden Zeittakt werden die Minimalabstände des Schiffsumrisses zur Fahrinnenbegrenzung rechts und links berechnet. Als Endergebnis werden die Häufigkeiten der Unterschreitung bestimmter Abstände bestimmt. Für eine leichte, mittlere und schwierige Fahrt sind in *Bild 4* sind diese Daten aufgetragen. Als Maß für die Schwierigkeit der Befahrung wird die Fläche oberhalb der Kurve bis hin zur 100%-Linie verwendet, wie im Beispiel durch die eingetragenen Werte verdeutlicht wird. Mit diesen numerischen Werten wird dann ein endgültiger Prozentwert für dieses Kriterium berechnet (s.u.).

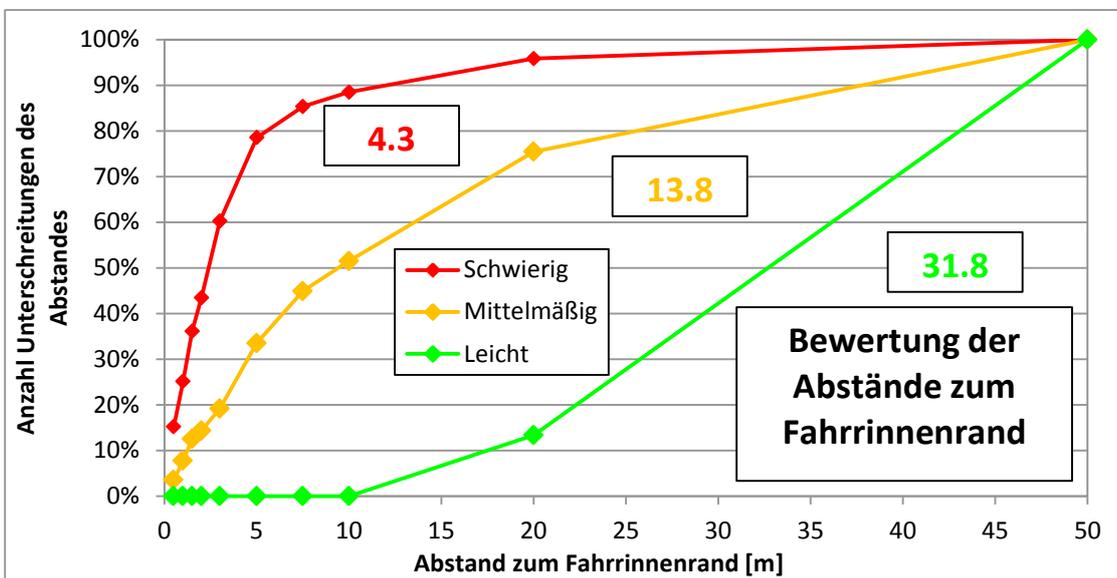


Bild: 4: Unterschreitung bestimmter Abstände zum Fahrinnenrand

Fahrinnenabstand – das Unterschreitungsintegral (siehe *Bild 4*) beider Fahrwasserseiten einer Fahrt wird mit dem maximal ermittelten Unterschreitungsintegral aller Fahrten verglichen.

$$A_{FR} = \frac{\min(UI_{Fahrt})}{\max(UI_{Alle})}$$

Alle diese Bewertungsergebnisse werden am Ende zu einer Gesamtbewertung herangezogen, wobei individuelle Gewichtungsfaktoren für die Bedeutung der einzelnen Ergebnisse bezüglich der Aufgabenstellung festgelegt werden müssen.

$$Bew = (R_d \cdot F_1 + R_B \cdot F_2 + R_n \cdot F_3 + R_r \cdot F_4 + A_{Bo} \cdot F_5 + A_{Br} \cdot F_6 + A_{Spur} \cdot F_7 + A_{FR} \cdot F_8) / \sum F_i$$

Die endgültigen Werte der Faktoren liegen noch nicht fest – bisher wurde (nur die ersten drei Kriterien) mit $F_1=3$, $F_2=2$ und $F_3=1$ gearbeitet. Eine systematische Vergleichsauswertung wird am Ende zu angebrachten Gewichtungen für die Beurteilung der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs führen.

Literatur

- Gronarz, A. (2011): Risikobetrachtung für Fahrten mit Überlänge durch das Stadtgebiet von Basel mit Fahrversuchen am Simulator. DST-Bericht 2025, nicht öffentlich
- Gronarz, A. (2012): Untersuchung zur Unfallhäufigkeit von Schiffen auf der oberen Donau im Abschnitt Straubing - Vilshofen. DST-Bericht 2058, nicht öffentlich
- Gronarz, A. (2015): Untersuchung zur Sicherheit und Leichtigkeit der Fahrt im Bereich Straubing bis Bogen. DST-Bericht 2160, nicht öffentlich.