

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Noß, Christian; Groh, Dietmar; Donandt, Kathrin
Intelligente Schleusenzulaufsteuerung zur
Effizienzsteigerung des Binnenschiffsverkehrs

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110445>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Noß, Christian; Groh, Dietmar; Donandt, Kathrin (2022): Intelligente Schleusenzulaufsteuerung zur Effizienzsteigerung des Binnenschiffsverkehrs. In: Hafentechnische Gesellschaft e.V. (Hg.): Tagungsband Posterausstellung 'HTG Kongress 2022, 31. Mai - 2. Juni 2022, Düsseldorf'. Hamburg: Hafentechnische Gesellschaft e.V.. S. 55-63.

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.



P 14: Intelligente Schleusenzulaufsteuerung zur Effizienzsteigerung des Binnenschiffsverkehrs

Dr.-Ing. C. Noß, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
Dipl.-Ing. D. Groh, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Bonn
MSc. Kathrin Donandt, Universität Duisburg-Essen, Duisburg

Die Digitalisierung von Verkehrsprozessen ermöglicht die Effizienzsteigerung vorhandener Infrastrukturen. Im Fall der Binnenschifffahrt bietet ein Schleusenmanagementsystem für Schleusenketten unter anderem die Möglichkeit, das Personal bei der Betriebsplanung mit dem Ziel geringer Wartezeiten oder geringen Wasserverbrauchs zu unterstützen. Infolgedessen lassen sich Ressourcen wie Treibstoff oder Personalzeiten einsparen und negative Umweltauswirkungen wie Emissionen vermindern. An Beispielen analysierter Engpässe des Verkehrsflusses und einem Schleusenmanagementsystem im Pilotbetrieb werden Problemstellungen in Schleusenketten und deren Lösungsansätze verdeutlicht. Hierbei zeigt sich, dass die Prognose erwarteter Ankunftszeiten von zentraler Bedeutung ist. Für diese wird eine KI-basierte Berechnungsmethode untersucht, deren Erfolg es durch numerische Simulationen und in realen Testungen nachzuweisen gilt.

1. Einleitung

Mit dem Masterplan Binnenschifffahrt (BMVI, 2019) formuliert die Bundesregierung das Ziel, die Verkehrsleistung auf Wasserstraßen im Zeitraum 2010 bis 2030 um 23 % zu erhöhen, so dass der Anteil der Binnenschifffahrt am Modal Split dann 12 % entspricht. Diese Steigerung soll einerseits durch die Bereitstellung einer bedarfsgerechten Infrastruktur, andererseits durch eine Effizienzsteigerung des Ressourceneinsatzes erfolgen.

Die Digitalisierung ermöglicht dabei Optimierungen von Prozessen und ist daher von besonderer Bedeutung für einen ungehinderten Verkehrsfluss sowie Ressourcen schonenden Transport. Z. B. gewährleistet die Optimierung von Schleusenprozessen mit dem Ziel minimaler Wartezeiten einen effizienten Personaleinsatz. Durch eine optimierte Schleusenzulaufsteuerung lassen sich darüber hinaus vorausschauende Fahrweisen mit minimalem Treibstoffverbrauch und damit einhergehend verringerten Emissionen oder auch ein minimaler Wasserverbrauch für den Schleusenbetrieb realisieren. Ting und Schonfeld (1999) zeigten, dass signifikante Einsparungen von Treibstoff und damit von Kosten und Emissionen möglich sind, wenn in Voraussicht auf Schleusungsstaus die Zulaufgeschwindigkeit in Stauhaltungen reduziert wird. Zur Minimierung von Staus bzw. Optimierung von Verkehrsflüssen wiesen dieselben Autoren zuvor nach, dass die integrale Betrachtung von Schleusen in einer Kette gegenüber der Einzelschleusenbetrachtung einen erheblichen Mehrwert besitzt (Ting und Schonfeld, 1998). In Schleusenketten untersuchten sie weiterhin unterschiedliche Steuerungstaktiken und fanden heraus, dass das üblicherweise praktizierte Windhundprinzip (wer zuerst ankommt, wird zuerst geschleust) längere Gesamtwartezeiten verursacht als die bevorzugte Schleusung von Schiffen mit kürzeren Abfertigungszeiten (Ting und Schonfeld, 2001). In dieser und weiteren Studien (z. B. Campbell et al., 2009, die am oberen Mississippi auch zusätzlich infrastrukturelle Maßnahmen in Form von technischen Hilfsmitteln bis hin zum Schleusenneubau betrachteten) konnten durch Prozessoptimierungen Wartezeiten um bis zu 30 % reduziert werden.

Eine direkte Übertragbarkeit dieser Ergebnisse ist aufgrund der hohen Individualität und Komplexität von Wasserstraßen bzw. Schleusenketten und Flottenstrukturen nur bedingt möglich. So ist die Zeit für die Trennung und Kupplung großer Schubverbände mit Ausnahme an den Schiffshebwerken Lüneburg und Niederfinow an deutschen gegenüber amerikanischen Wasserstraßen unbedeutend. Eine Optimierung von Schleusungsprozessen und die Steuerung des Schleusenzulaufs bedarf daher detaillierter Kenntnisse über die Ursachen möglicher Engpässe in den jeweiligen Schleusenketten. Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse einer Engpassanalyse am Beispiel der Schleusenketten des Wesel-Datteln-Kanals (WDK) und des Elbe-Seitenkanals (ESK) wiedergeben (Kap. 2) und ein Schleusenmanagementsystem vorgestellt (Kap. 3), welches aktuell an der Donau und am Main-Donau-Kanal (MDK) eingesetzt wird. Das Kap. 4 geht auf die Weiterentwicklung des Systems mit Methoden des maschinellen Lernens ein und Kap. 5 schließt mit einem Ausblick zur Testung mithilfe numerischer Simulationen und Pilotierung an den genannten Schleusenketten.

2. Schiffsverkehr und Staus in Schleusenketten

Zur Klärung von Engpasssituationen in Schleusenketten wurde der Schiffsverkehr in zwei Wasserstraßen, WDK und ESK, analysiert. Die Analyse basiert auf Auswertungen aufgezeichneter AIS-Signale (engl. Automatic Identification System) und Simulationen mit einem Schleusen- und Verkehrssimulationsmodell. Die mittels AIS beobachteten Schiffstrajektorien lassen die Flottenstrukturen und das zeitliche Verkehrsaufkommen an den Wasserstraßen sowie den Betrieb der Kammern an den jeweiligen Schleusen erkennen. Weiterhin können Wartezeiten in Vorhäfen als auch die Wahrscheinlichkeit, vor einer Schleusung warten zu müssen, den AIS-Daten entnommen und statistisch ausgewertet werden. Ein Schleusen- und Verkehrssimulationsmodell mit Anfangs- und Randbedingungen der über AIS-Daten beobachteten Engpasssituationen ermöglicht diese abzubilden und durch gezielte Veränderungen die Ursachen der Engpässe zu klären bzw. die Engpässe aufzulösen. Für definierte Lastfälle, in denen unter Berücksichtigung wasserstraßentypischer Flottenstrukturen das Verkehrsaufkommen in Simulationen erhöht wird, lassen sich überdies Schleusen identifizieren, an denen es zu Staubildungen kommen kann.

Die Abb. 1 gibt exemplarisch die Ergebnisse der Engpassanalyse am WDK bzw. an der Schleuse Friedrichsfeld (Eingangsschleuse Rhein – WDK) wieder. Demnach fahren dort am häufigsten Europaschiffe (ES), gefolgt von Schiffstypen der Gustav-Koenigs-Klasse (GK) und dem Großmotorgüterschiff (GMS, Abb. 1a). Das tageszeitliche Verkehrsaufkommen an der Schleuse Friedrichsfeld (Abb. 1b) zeigt einen nahezu konstanten Schiffsverkehr mit ca. 2,5 Schiffen je Stunde über den Tag und deutlich weniger (<1 Schiff pro Stunde) in der Nacht. Ein dominierender Verkehr zu Berg in den Morgenstunden wandelt sich zu einem verstärkten Verkehr zu Tal über den Nachmittag und entspricht damit dem gegenläufigen Verkehr zur Schleuse Dorsten (ohne Abb.). In der Verkehrs- und Engpassanalyse am WDK weist die Schleuse Friedrichsfeld mit 1,2 Stunden die durchschnittlich längste Wartezeit und mit 44 % den durchschnittlich größten Stauanteil, also die Wahrscheinlichkeit vor einer Schleusung warten zu müssen, auf. Die tageszeitliche Verteilung (Abb. 1c) und Streuung dieser Stauparameter verdeutlicht, dass in den Tagesstunden mit deutlich höheren Wahrscheinlichkeiten und längeren Wartezeiten zu rechnen ist. Analog zur Schleuse Friedrichsfeld am WDK kann am ESK das Schiffshebwerk Scharnebeck bei Lüneburg (Übergang ESK – Elbe) mit durchschnittlich 1,4 Stunden Wartezeit und 42 % Stauwahrscheinlichkeit als neuralgischer Zwangspunkt für den Schiffsverkehr identifiziert werden (ohne Abb.).

Unter der Annahme eines doppelt so hohen Verkehrsaufkommens an den Wasserstraßen zeigen die Ergebnisse der Simulationen allerdings, dass am WDK die Schleuse Dorsten (Abb. 1d) und am ESK die Schleuse Uelzen das Nadelöhr für den Schiffsverkehr darstellen. Die häufigste Ursache der beobachteten und nachsimulierten Engpässe bilden an beiden Wasserstraßen eingeschränkte Schleusenbetriebe mit nur einer Kammer, gefolgt von gleichzeitigem auf die entsprechende Schleuse zulaufendem Verkehr. Während ersterem durch Instandhaltungsmaßnahmen begegnet werden kann, lässt sich die zweite Ursache durch eine optimierte Schleusenzulaufsteuerung vermeiden.

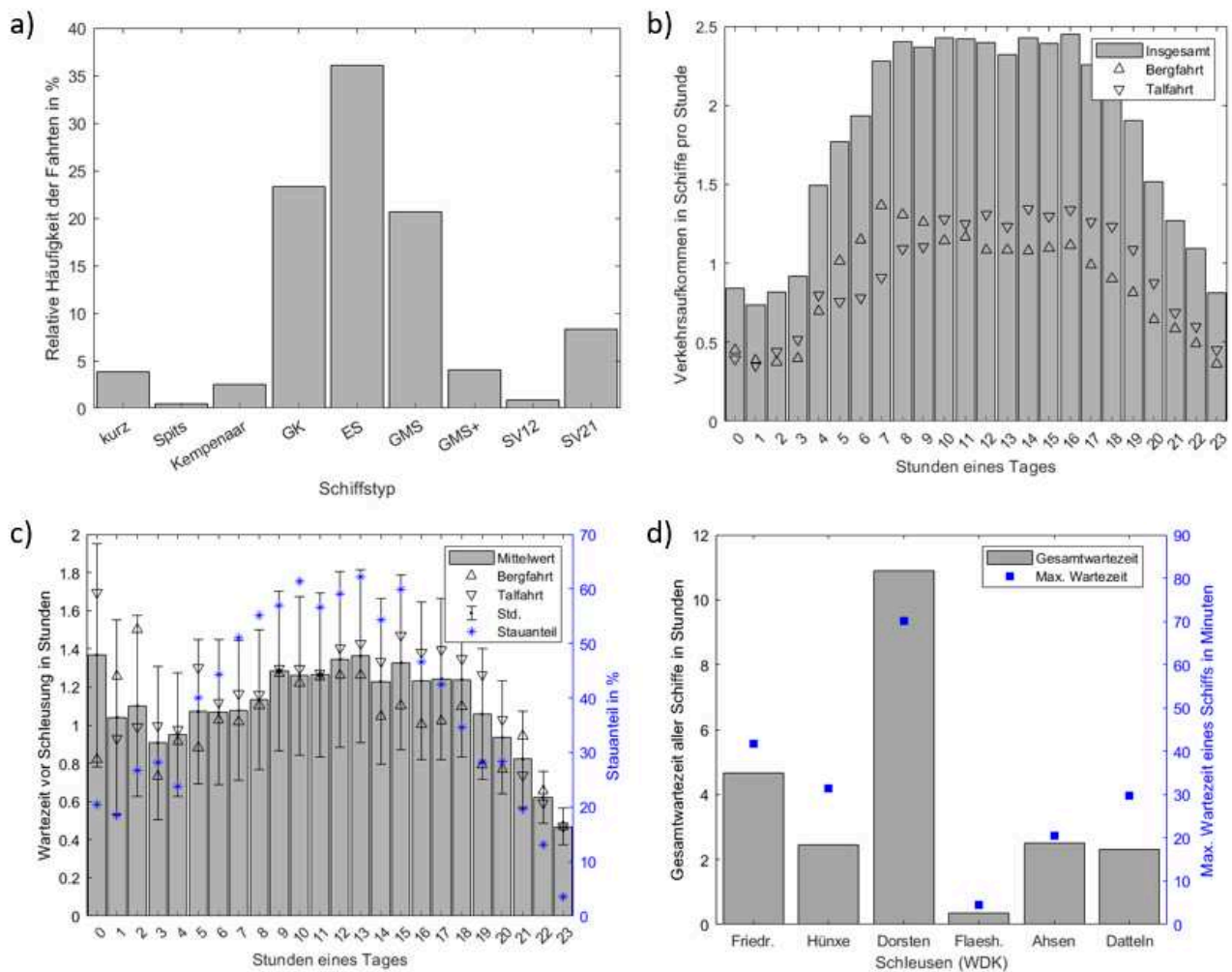


Abb. 1: a) Flottenstruktur auf Basis beobachteter Fahrten am WDK, b) Verkehrsaufkommen und c) Stauparameter an der Schleuse Friedrichsfeld, sowie d) Ergebnisse der Schleusen- und Verkehrssimulation mit 2-fach erhöhtem Verkehrsaufkommen.

3. Schleusenmanagementsystem (SMGT)

Für einen möglichst reibungslosen Verkehrsstrom gilt es, unter Gewährleistung von Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs, Schleusungen zügig abzuwickeln. Das Ziel des hier vorgestellten SMGT ist es, diesbezüglich Schichtleiter der Schleusen bei der Erfassung des Schiffsverkehrs, bei der Dokumentation von Schleusungsprozessen und bei der Schleusenplanung zu unterstützen.

In Bezug auf die Erfassung haben Schichtleiter bislang lediglich über Funk und in Einzelfällen über Videobeobachtungen an Meldestellen Kenntnisse zu den Verkehrslagen im Umfeld ihrer Schleusen. Das SMGT stellt auf Basis von Inland AIS-Informationen die Verkehrslage dar, so dass ein Schichtleiter

auch ohne Funk- und Videokontakt, detaillierte Kenntnisse zur Identifikation, Position und Fahrtrichtung der Schiffe im entsprechenden Abschnitt erhält. Die Abwicklung eines Schleusungsvorgangs ist für die Schichtleiter durch eine tabellarische Darstellung und leichtes Markieren der zur Schleusung vorgesehenen Fahrzeuge im Schleusenstand über integrierte Bildschirme transparent und einfach durchzuführen. Mit der Markierung erfolgt eine Rangvergabe sowie logische Überführung von der Vorliste (angemeldete Fahrzeuge) in den Vorbereich (anstehende Schleusung).

Durch die AIS-Positionsverfolgung wird überdies die Einfahrt eines Schiffs in eine Schleusenammer automatisch erkannt und das vorgeschriebene Verkehrstagebuch, in dem alle Schleusungsvorgänge festzuhalten sind, weitgehend automatisch vorausgefüllt. Hierdurch wird einerseits das Schleusenpersonal von Dateneingabeaufgaben entlastet, welches die Sicherheit und Leichtigkeit der Schleusungsprozesse fördert, und andererseits die Qualität der Dokumentation durch die Möglichkeit der Querüberprüfungen hinterlegter Daten (z. B. zu Schiffsabmessungen) erhöht.

Das SMGT unterstützt weiterhin das Personal bei der Schleusenplanung, sowohl in Bezug auf die im Rahmen der Binnenschiffahrtsstraßenordnung (BinSchStrO, 2019) mögliche Regulierung des Verkehrsgeschehens als auch hinsichtlich der Kammerbelegung. Neben der beschriebenen Erfassung und Darstellung des Schiffsverkehrs werden auf Basis von Schiffs- bzw. Verbandsdaten, Schleusenkonfigurationen und Verkehrsdichte voraussichtliche Ankunftszeiten an den Schleusen berechnet. Diese können zu optimierten Ankunftszeiten an der nächsten Schleuse weiterverarbeitet und der Schifffahrt über AIS-Message auf dem Inland ECDIS-Gerät mitgeteilt werden (Abb. 2), so dass sich durch angepasste Fahrweisen Wartezeiten und auch Emissionen vermeiden lassen. Ein weiterer Aspekt bei der Optimierung der Schleusenplanung ist die Minimierung bzw. Ausgleiche von Wasserverlusten infolge von Schleusungen.

Im Rahmen eines Pilotbetriebs (eigentlicher Zeitraum von 2017 – 2019), welcher aufgrund seines Erfolges aktuell weiterläuft, wird das SMGT an der Donau im Bereich der Schleusenkette von Bad Abbach bis Jochenstein getestet. Hierbei optimiert das SMGT die Kammerbelegung, die sowohl die 24 m breiten Schleusen Geisling, Straubing, Kachlet und Jochenstein als auch zusätzlich die zwei parallelen Kammern in Kachelet und Jochenstein berücksichtigt. Seit Herbst 2020 erfolgt die Erweiterung des SMGTs für den MDK, bei dem die Besonderheit der Scheitelwasserhaltung zwischen Hilpoltstein und Bachhausen berücksichtigt wird. Die Inbetriebnahme fand Ende April 2021 statt.

In zuvor genannten Studien hat sich gezeigt, dass im Gegensatz zur Einzelschleusenbetrachtung eine Optimierung erst bei der Betrachtung einer ganzen Schleusenkette signifikante Vorteile hinsichtlich der Reduzierung von (Gesamt-) Wartezeiten bietet. Eine Erkenntnis aus dem Pilotbetrieb ist, dass unvorhergesehene Änderungen der Verkehrslage (z. B. Schiff geht auf Reede oder läuft einen Hafen an, ohne dies entsprechend gemeldet zu haben) erhebliche Auswirkungen auf die Qualität des Optimierungsprozesses und damit auf die berechneten Ankunftszeiten haben. Um hier die Vorhersagegenauigkeit (auch im Hinblick auf weitere Einflussgrößen) steigern zu können, werden die im folgenden Kapitel beschriebenen Anstrengungen unternommen, durch intelligente Verfahren deutlich bessere Ergebnisse erzielen zu können.

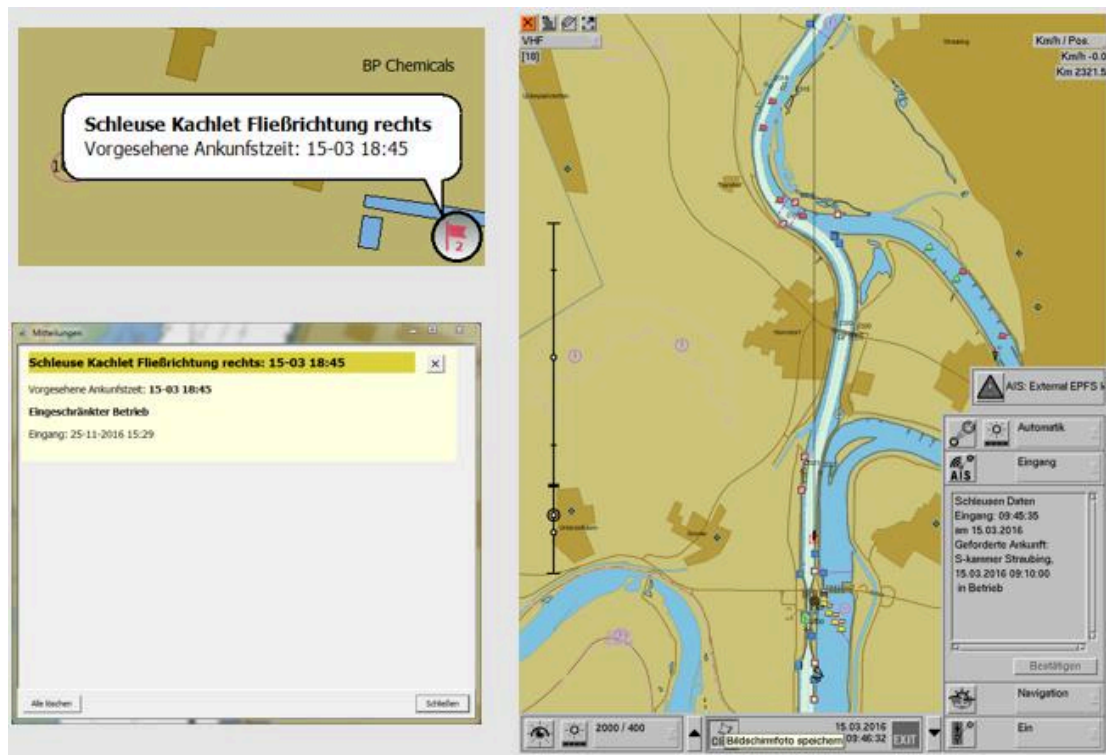


Abb. 2: Beispiel für eine Meldung der optimierten (vorgesehenen) Ankunftszeit an der Schleuse (Donau) auf dem Inland ECDIS-Gerät eines Schiffes.

4. KI-basierte Ankunftszeitberechnung

Ziel des KI-basierten ETA-Prognose-Ansatzes ist es, anhand der Informationen über Geschwindigkeit, Entfernung bis zur Schleuse sowie optional Zeitpunkt (Wochentag und Tageszeit, d. h. Tag/Nacht) die verbleibende Fahrtzeit bis zur nächsten Schleuse vorherzusagen. Durch die Einbeziehung des Zeitpunktes soll ermöglicht werden, wochentag- und uhrzeitspezifische Verkehrsflüsse und deren Einfluss auf die ETA indirekt mitberücksichtigen zu können. Das herangezogene Feed-Forward Neuronale Netz besteht aus bis zu zwei verdeckten Schichten. Die kontinuierlichen Eingabeparameter (Geschwindigkeit, Distanz) werden normalisiert und die kategorischen Eingabeparameter (Wochentag, Tageszeit) in binäre Label überführt, bevor sie in das Netz eingespeist werden. Um zu vermeiden, dass es zu einer Spezialisierung auf die Trainingsdaten (Overfitting) kommt, wird der Dropout-Mechanismus (Srivastava et al., 2014) verwendet, bei dem in jeder Trainingsepoche eine bestimmte Anzahl zufällig ausgewählter Neuronen deaktiviert werden. Als Zielfunktion wird die mittlere quadratische Abweichung zwischen vorhergesagter und tatsächlicher Ankunftszeit herangezogen.

Nach einer ersten Trainingsphase auf allen zur Verfügung stehenden Trainingsdaten (Pretraining) wird das neuronale Netz auf schiffsspezifischen Teildatensätzen nachtrainiert (Finetuning). Durch dieses Finetuning wird somit ein Vorhersagemodell für jedes Schiff generiert, welches in den Trainingsdaten vorliegt, so dass schiffsspezifische Einflussfaktoren berücksichtigt werden.

Der vorgeschlagene KI-Ansatz wurde für ETA-Prognosen an den Schleusen der Donau erprobt. Pro Haltungssegment und Fahrtrichtung wurden jeweils ein Pretraining und Finetuning durchgeführt. Die Datengrundlage für das Training umfasst ca. 1,5 Jahre (05/2019 – 12/2020) mit ca. 35 Mio. Datensätze für alle Haltungssegmente und Fahrtrichtungen. Es wurde zunächst überprüft, inwieweit das Finetuning zur Verbesserung der ETA-Vorhersagen führt (Abb. 1). Zur Einschätzung der

Prognosequalität des KI-Ansatzes im Allgemeinen wurden die Ergebnisse mit einer Baseline verglichen, welche die ETA mittels der in den Trainingsdaten pro Distanzkilometer (Abstand zur Schleuse) beobachteten Geschwindigkeiten berechnet.

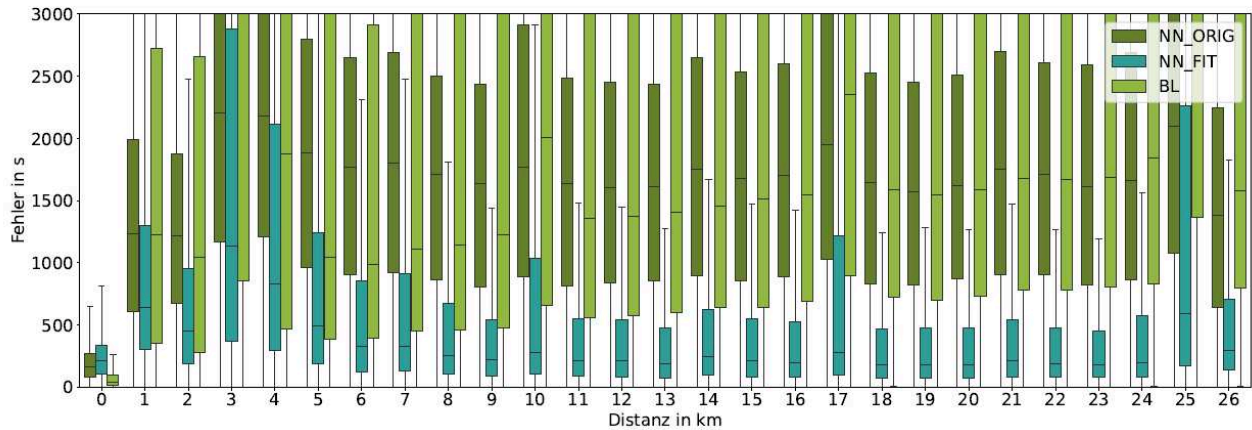


Abb. 3: Verteilung des Vorhersagefehlers in Abhängigkeit der Distanz zur Schleuse für vortrainiertes (NN_ORIG) und nachtrainiertes (NN_FIT) neuronales Modell sowie Baseline-Ansatz (BL).

Um eine geeignete Netzarchitektur zu bestimmen, wurde eine Hyperparameteroptimierung durchgeführt, im Zuge derer verschiedene Kombinationen von Größe der Eingabeschicht sowie Anzahl und Größen der versteckten Schichten verglichen wurden. Außerdem wurden neben den obligatorischen Eingabeparametern, aktuelle Geschwindigkeit und Distanz zur Schleuse, die Performanz bei Einbeziehung unterschiedlicher optionaler Parameter (Zeitpunkt, durchschnittliche Geschwindigkeit der letzten Minute, durchschnittliche Geschwindigkeit pro Distanzkilometer zur Schleuse) und deren Kombination untersucht. Da eine deutlich bessere Vorhersage bei Miteinbeziehung der Zeitpunkinformation beobachtbar war, beziehen sich die Ergebnisse in den Abbildungen auf Modelle, denen diese Information in der Eingabe vorliegt.

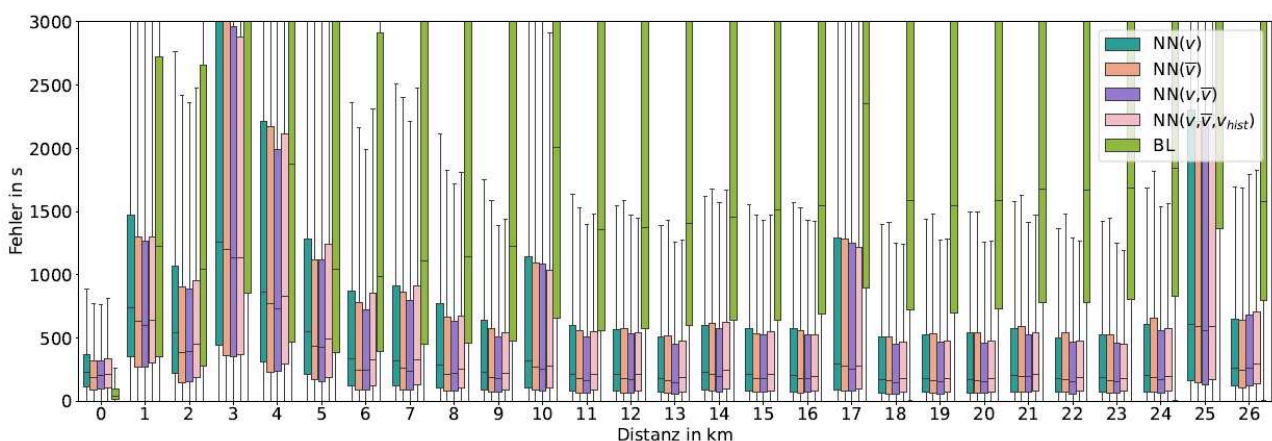


Abb. 4: Vergleich der Performanz nachtrainierter neuronaler Modelle (NN) bei unterschiedlicher Information über die Geschwindigkeit (v : aktuelle Geschwindigkeit, \bar{v} : durchschnittliche Geschwindigkeit der letzten Minute, v_{hist} : durchschnittliche, in den Trainingsdaten beobachtete Geschwindigkeit am aktuellen Distanzkilometer). Neben Geschwindigkeit(en) sind Distanz zur Schleuse und Zeitpunkt zusätzliche Eingabeparameter.

Die Ergebnisse, die hier beispielhaft für das Haltungssegment von Donaukilometer 2204,04 bis 2230,36 aufgeführt sind, zeigen, dass

- 1) gegenüber der auf durchschnittlichen Geschwindigkeiten basierende Vorhersage (Baseline) häufig bessere Vorhersagen durch den vorgeschlagenen Ansatz erzielt werden (Abb. 3),
- 2) das Finetuning meist eine weitere Verbesserung bewirkt (Abb. 3).
- 3) die Ergänzung der aktuellen Geschwindigkeit durch durchschnittliche beobachtete und/oder historische Geschwindigkeiten für das neuronale Netz nicht unbedingt erforderlich ist (Abb. 4).

Auf Basis der Ergebnisse für mehrerer Haltungssegmente wurde eine hybride Methode entwickelt, bei der entweder der Ansatz mit dem vor- bzw. nachtrainierten mit optimaler Eingabeparameterkombination oder der Baseline-Ansatz angewendet wird. Zum Beispiel würde für das dargestellte Haltungssegment die ETA eines Schiffes, welches sich im Bereich des letzten Kilometer vor der Schleuse befindet, besser mittels der Baseline statt der neuronalen Modelle für die ETA-Vorhersage ermittelt werden (s. Abb. 3). Es wird momentan überprüft, ob dieser hybride Ansatz zu akkurateren ETA-Prognosen als den im SMGT verwendeten führt.

Anstelle der Auswahl des Vorhersagemodells anhand der ermittelten durchschnittlichen Vorhersagequalität pro Distanzkilometer könnte in Zukunft durch den Einsatz eines probabilistischen neuronalen Netzes die Vorhersageunsicherheit des KI-Ansatzes direkt und fallspezifisch ersichtlich werden und anhand dieser entschieden werden, ob ein Rückgriff auf klassische (fahrdynamische/physikalische) Modelle notwendig ist oder nicht.

5. Validierung des modifizierten Schleusenmanagementsystems

Bevor das modifizierte SMGT zur Unterstützung von Schichtleitern im regulären Betrieb eingesetzt werden kann, muss eine dreistufige Evaluierung der Funktionsfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit durchgeführt und mit positiven Ergebnissen nachgewiesen werden: (1) Eine signifikant nachweisbare Reduzierung von Stauwahrscheinlichkeiten und Gesamtwarezeiten in Szenarien numerischer Schleusen- und Verkehrssimulationen, (2) eine erfolgreiche Anwendung des modifizierten Schleusenmanagementsystems in Pilotanwendungen an ausgewählten Schleusenketten sowie (3) der Nachweis zum Bedarf und zur Anwendbarkeit des Systems auf weiteren Schleusenketten mit Engpässen. Während der zweite Punkt eine Erprobung im Realbetrieb mit dem modifizierten SMGT erfordert, sind die Punkte 1 und 3 durch Analysen beobachteter Ausgangszustände unter Zuhilfenahme des Schleusen- und Verkehrssimulationsmodells möglich. Hierbei stellt der erste Punkt das Ergebnis der Entwicklung des modifizierten SMGT dar. Eine Schnittstelle zwischen SMGT und Schleusen- und Verkehrssimulationsmodell ermöglicht den Austausch von Schiffsverkehren beobachteter Engpassituationen bzw. die Abbildung in Lastfällen festgelegter Verkehre sowie die Visualisierung der Optimierung der Schleusenzulauftsteuerung (Abb. 5). Auf diese Weise lassen sich die Eignung der gewählten Methoden zur Berechnung der voraussichtlichen Ankunftszeiten und zur Optimierung der Schleusenzuläufe sowie zugehöriger Parametereinstellungen bewerten.

Neben der rein numerischen Bewertung der Optimierung des Schleusenzulaufs ist auch die praktische Anwendbarkeit des modifizierten SMGT für den Erfolg und letztlich für die Effizienzsteigerung in den Schleusenketten verantwortlich. Hierfür bedarf es der Erprobung und Begutachtung sowie etwaiger Nachjustierung des Systems während des realen Betriebs. Für diese Evaluation eignen sich

Pilotanwendungen in Schleusenketten, in denen bereits jetzt das SMGT eingesetzt wird (Donau und MDK) sowie in denen der Schiffsverkehr und die Engpässe hinlänglich analysiert wurden (WDK und ESK). Erst nach intensiver und erfolgreicher Testung und damit einhergehender Akzeptanz der Schleusenzulaufoptimierung durch Schichtleiter und Schiffsführer können der Bedarf an anderen Schleusenketten festgestellt und die Anwendbarkeit des Systems an diesen bewertet werden.

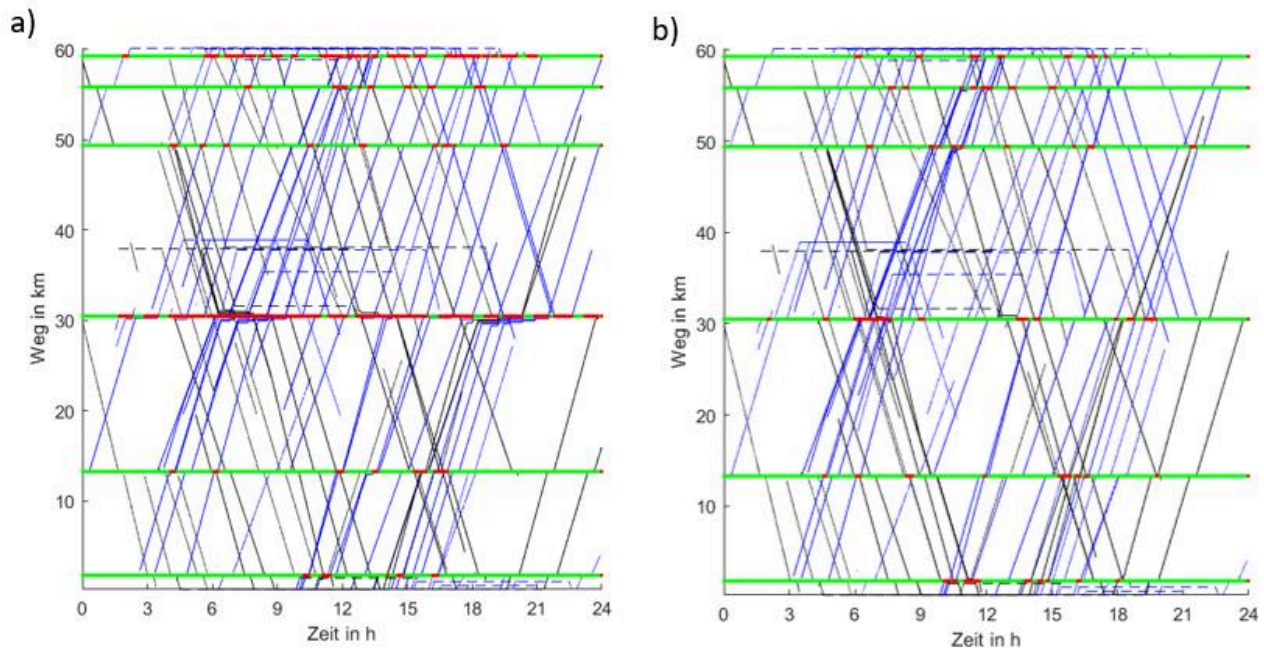


Abb. 5: Simulierte Weg-Zeitdiagramme der Schiffstrajektorien (blau von Bergfahrern, schwarz von Talfahrern, gestrichelt wenn liegend) und Schleusungsmöglichkeiten für den zulaufenden Verkehr (grün wenn direkt möglich, rot wenn auf Schleusung gewartet werden muss) eines beobachteten Engpasses (a) an der Schleuse Dorsten (WDK) und unter Annahme voller Schleusenfunktionalität sowie zeitlich versetzter Startzeiten der Schiffe.

Quellen

BinSchStrO (2019): Binnenschiffahrtsstraßen-Ordnung vom 16. Dezember 2011 (BGBl. 2012 I S. 2, 1666), zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 31. Oktober 2019 (BGBl. I S. 1518)

BMVI (Hg.) (2019): Masterplan Binnenschifffahrt 2019. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/WS/masterplan-binnenschifffahrt-de.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 15.04.2021

Campbell, J. F., Smith, L. D. und D. C. Sweeney II (2009): A Robust Strategy for Managing Congestion at Locks on the Upper Mississippi River. Proceedings of the 42nd Hawaii International Conference on System Sciences

Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., Salakhutdinov, R. (2014): Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting. J. of Machine Learning Research (JMLR), 15(56):1929–1958.

Ting, C. J. und P. Schonfeld (1998): Integrated Control for Series of Waterway Locks. J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng., 124(4): 199-206

Ting, C. J. und P. Schonfeld (1999): Effects of Speed Control on Tow Travel Costs. J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng., 125(4): 203-206

Ting und Schonfeld (2001): Efficiency versus Fairness in Priority Control: Waterway Lock Case. J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng., 127(2): 82-88

•

POSTERAUSSTELLUNG



Maritim Hotel Düsseldorf
31. Mai. bis 2. Juni 2022