

Jannis Daubner
Lorenz Mumm

SOKI – Schleusungsoptimierung mit Hilfe künstlicher Intelligenz

Fortschritte in der Binnenschifffahrt.
Digitalisierung – Logistik – Dekarbonisierung –
Niedrigwasser

08.05.2025, Karlsruhe



Einleitung

- „Natürlicher“ Flaschenhals auf Binnenwasserstraßen:

- Schleusen

- Beispiel: Schleuse Friedrichsfeld bis zu



Schleuse Iffezheim

INTEGRATION

ABSTRACT: D
lock
locks
yield
repor
result
with
(SPF&A) yields
interdependence

INTRODUCTION

Delays at locks on inland
distributions, service time
trol policies. The arrival di

Proceedings of the 42nd Hawaii International Conference on System Sciences - 2009

A Robust Strategy for Managing Congestion at Locks on the Upper Mississippi River

James F. Campbell, L. Douglas Smith, Donald C. Sweeney II,
College of Business Administration, University of Missouri-St. Louis

➤ Reduktion der Wartezeiten bis zu 25 %

Abstract

The Mississippi River is an important waterway in national and global supply chains, especially for agricultural commodities. The tools available for

While inland water transportation may be less familiar than road transportation, options for relieving congestion include similar operational, tactical and strategic decisions. This paper illustrates a process for

(1)

(2)



Einleitung

- Zielsetzung von SOKI:
 - Entwicklung eines Schleusungsoptimierungsmoduls
 - Verbesserung des Verkehrsflusses
 - Verringerung des Wasserverbrauchs
 - **S**chleusungs**O**ptimierungsalgorithmus mit Hilfe **K**ünstlicher Intelligenz (SOKI)

Ohne optimierten Schleusenzulauf:



Mit optimierten Schleusenzulauf:



 Keine Fahrtverzögerung  Geringe Fahrtverzögerung  Erhebliche Fahrtverzögerung



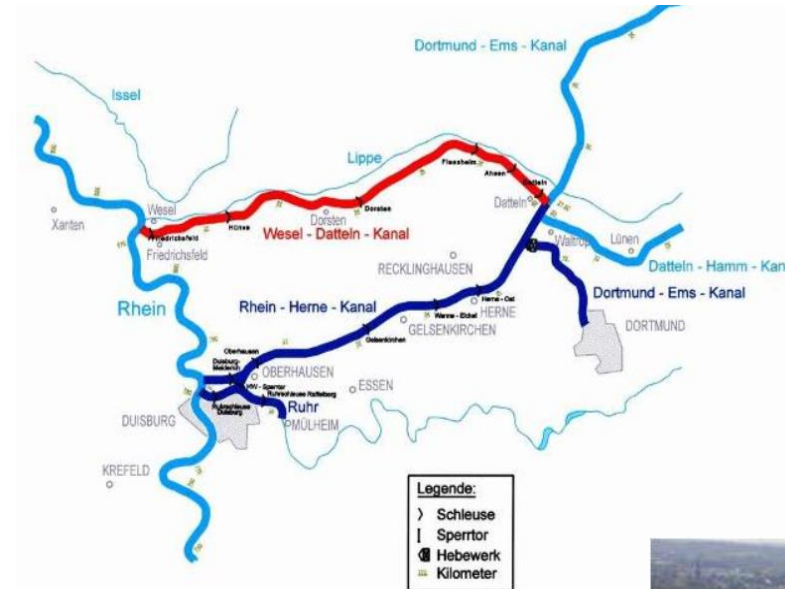
Wesel-Datteln-Kanal (WDK)

- **Wesel-Datteln-Kanal (WDK)**

- **60,01 km** lang
- Etwa **40 m** Höhenunterschied
- Sechs Schleusen
 - Je eine große und eine kleine Kammer

- **Verkehr**

- Zweitmeist befahrende Binnenwasserstraße (3)
- 2022: 16.515 Schiffe (4)
- Hauptsächlich **Gütertransport**
 - Feste mineralische Brennstoffe
 - Chemische Erzeugnisse



Quelle: WSA Duisburg-Meiderich

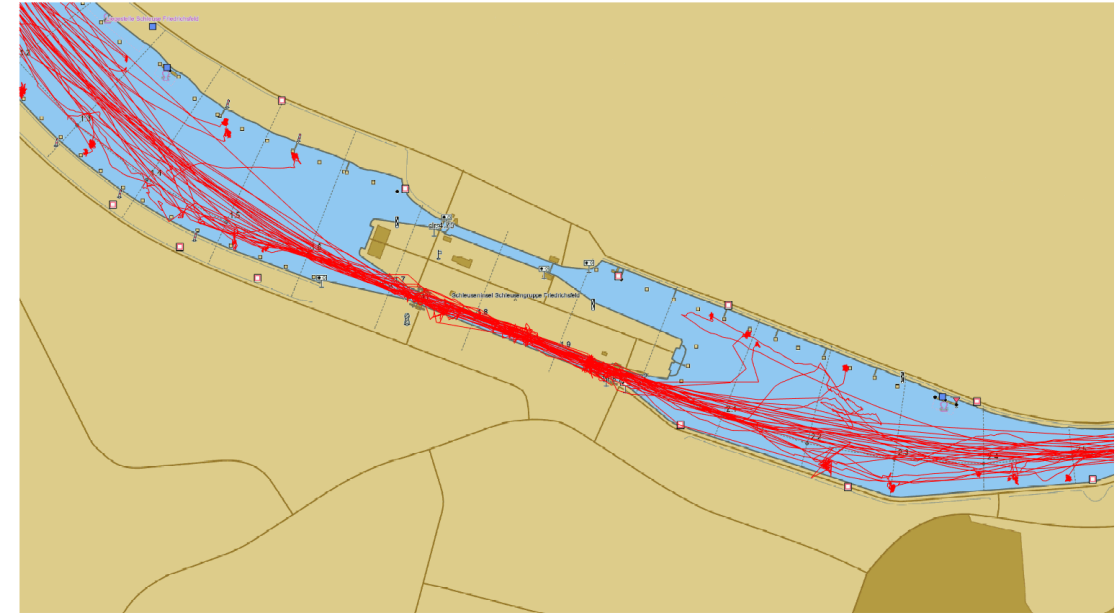
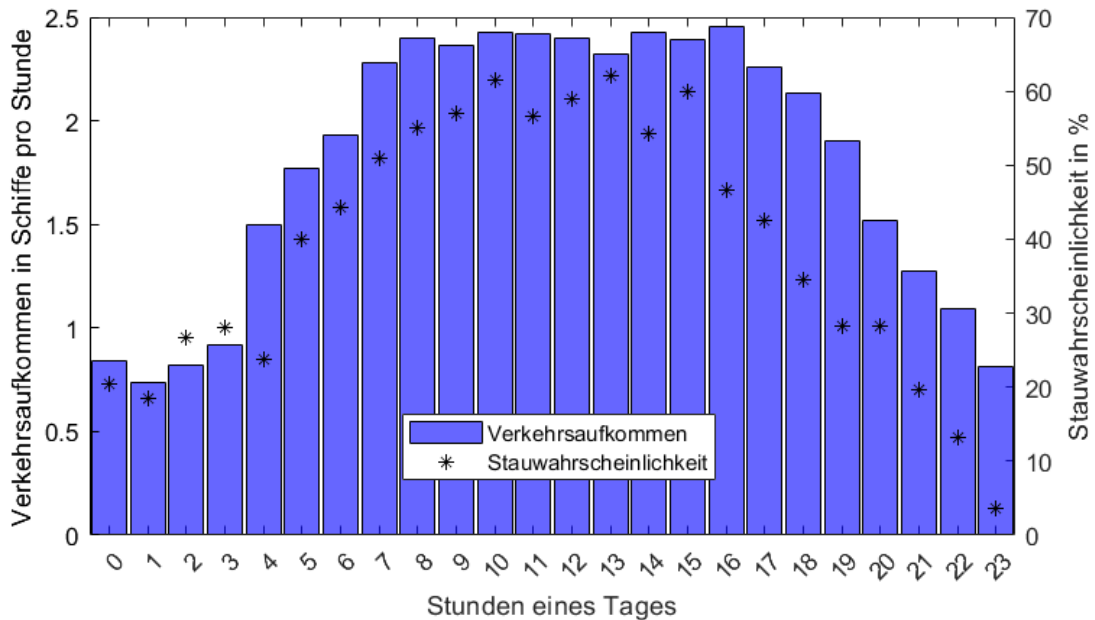


Quelle: WSA Westdeutsche Kanäle, Standort Dorsten



Wesel-Datteln-Kanal (WDK) - Problemsituation

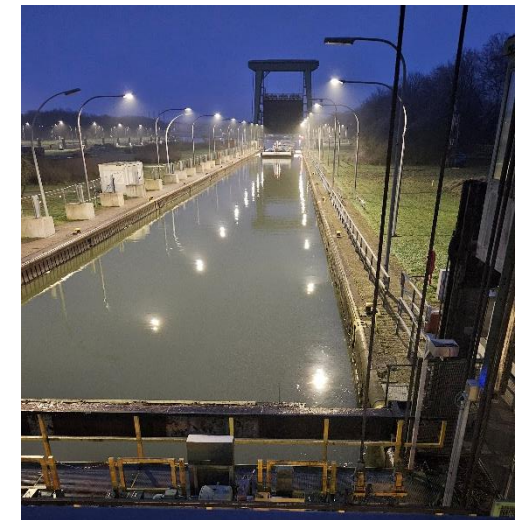
- **Tageszeitabhängige Wartezeiten** vor den Schleusen
- Erhöhtes **Staurisiko** in den **Schleusenvorhöfen**
 - Bei Stau im Mittel 1 Stunde Wartezeit an Schleusen im WDK
 - Maximal Wartezeit an Schleuse: **4 Stunden**



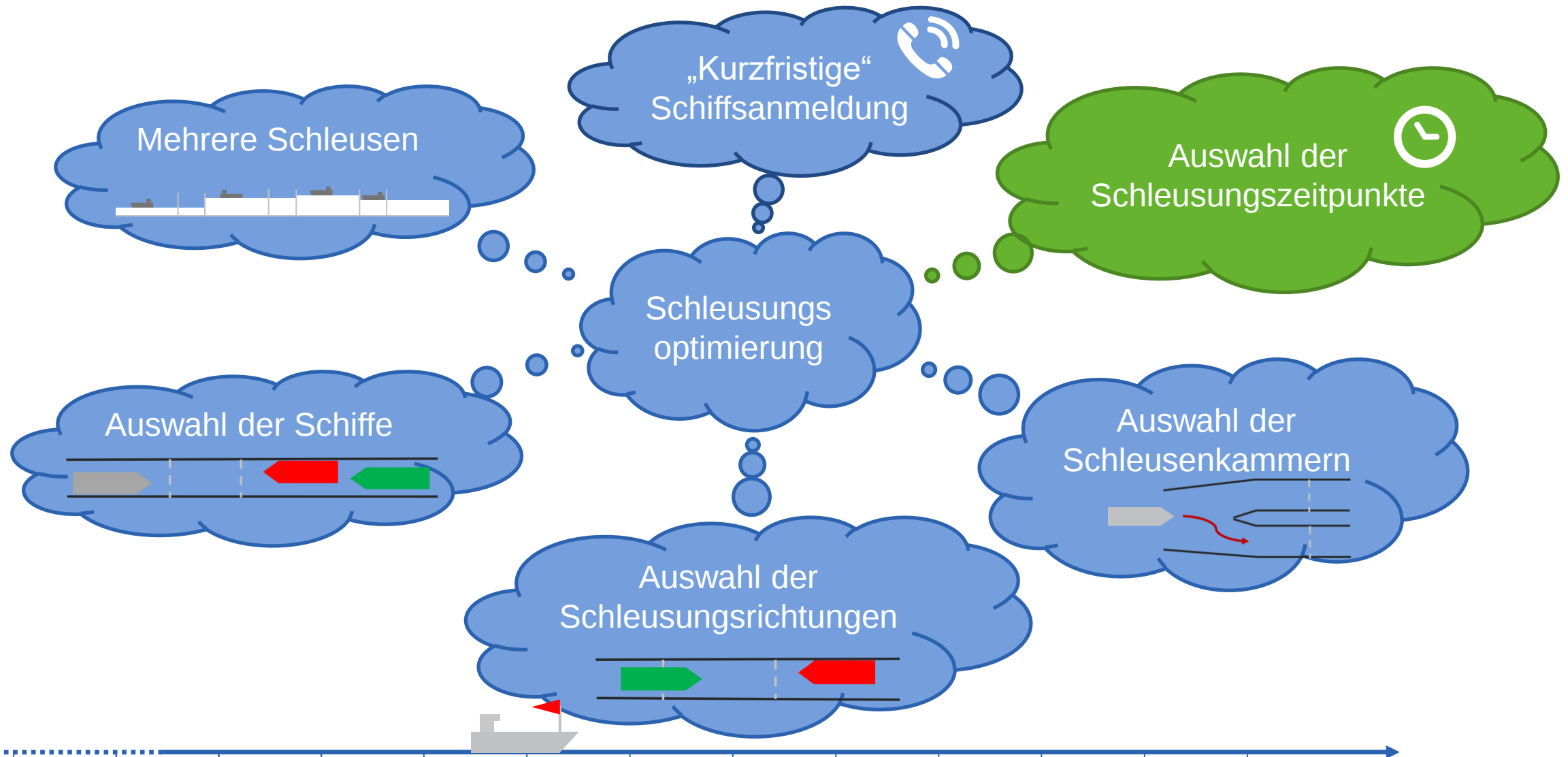
Schleuse Friedrichsfeld

Besuch WDK - Auswertung

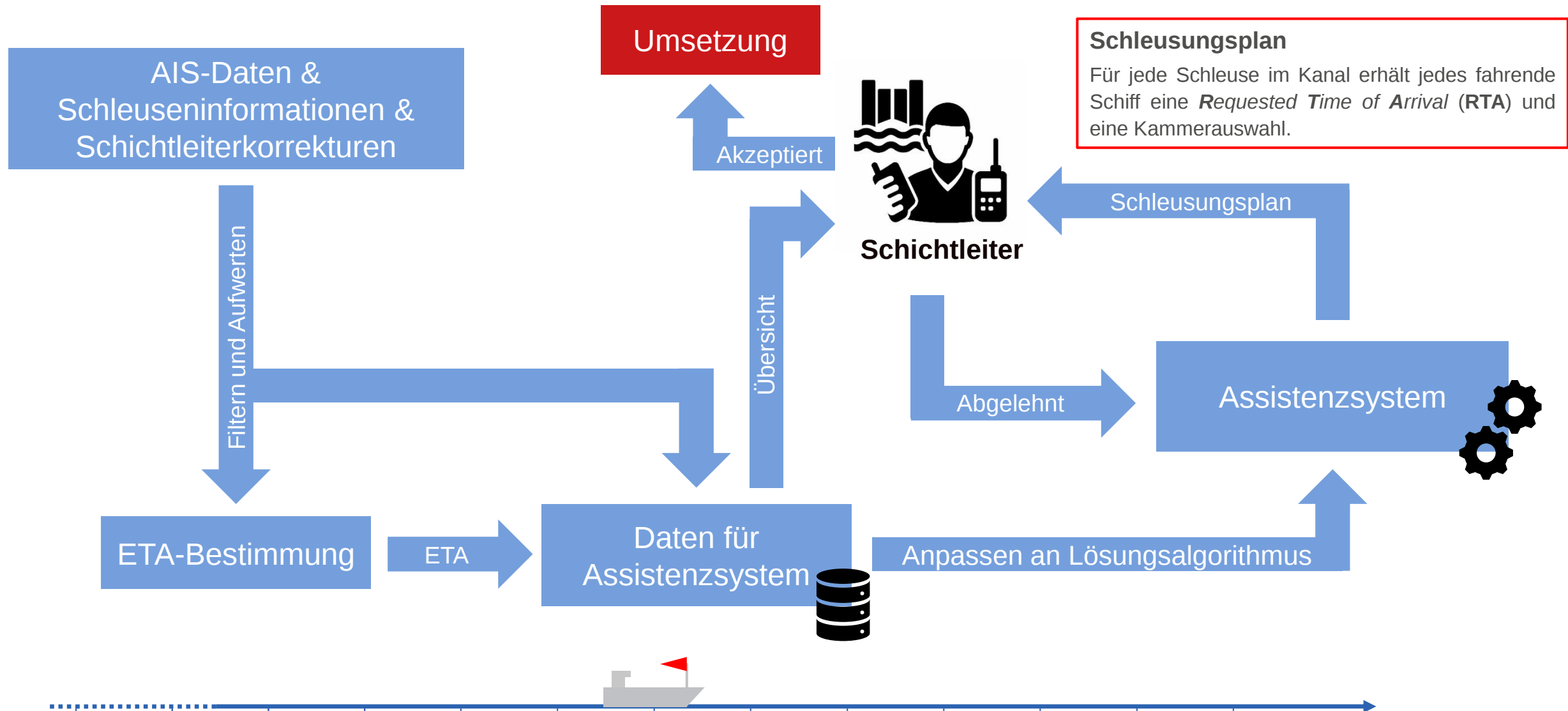
- **Arbeit geht über Schleusungsbelegung hinaus**
 - Vorhafenmanagement, Havariemanagement & Weckruf
- **Kommunikation**
 - Meist **wenig Kommunikation** zwischen den Schleusen
 - Wenn Kommunikation, dann Vorhafenmanagement
- **Sportboote** brauchen häufig länger beim Schleusen
 - **Mehraufwand** für die Schichtleiter
- **Ablauf**
 - Den Schiffsführern geht es um jede Minute
 - Wartezeiten müssen gut erklärt werden können



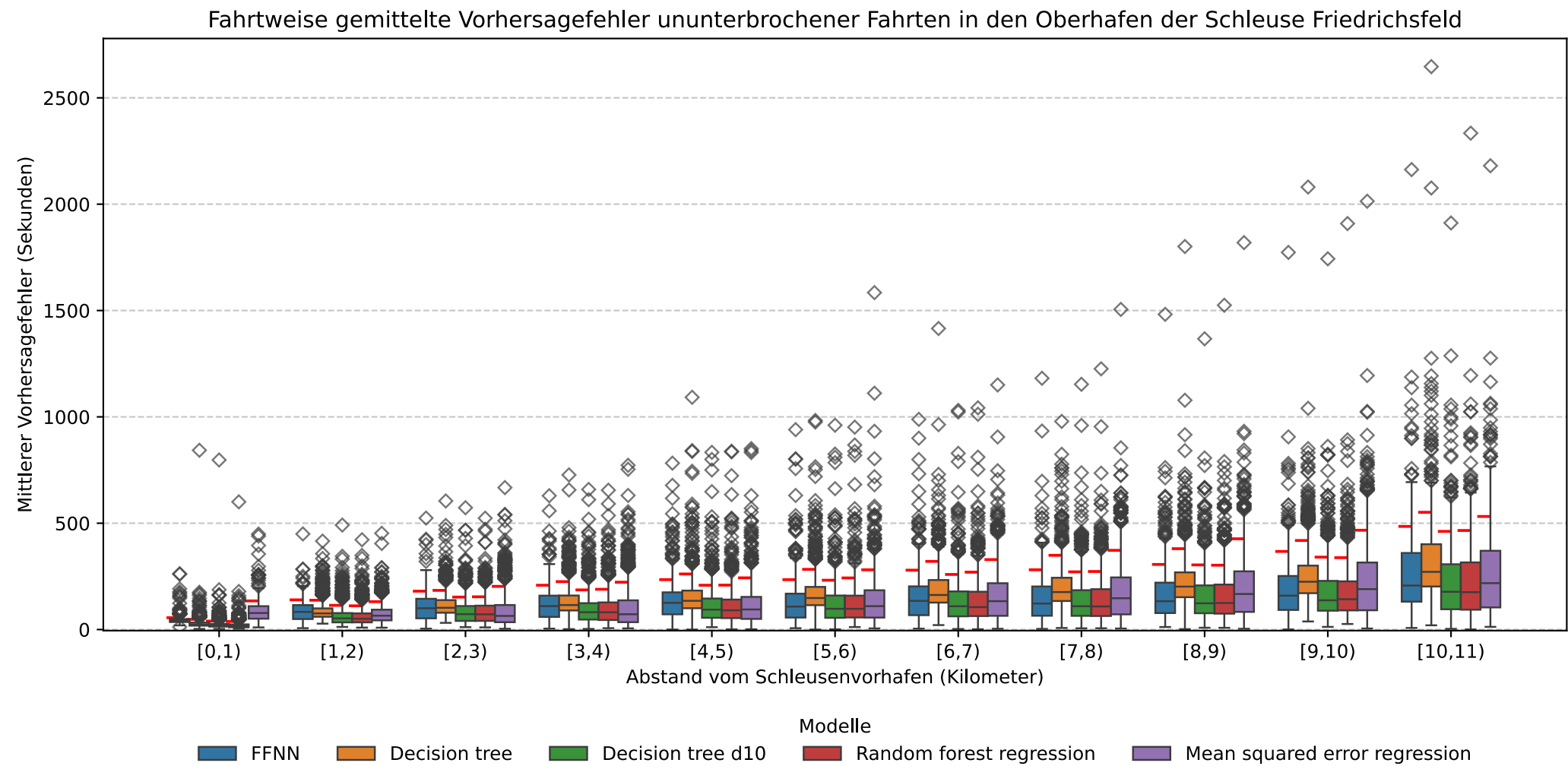
Allgemeine Lösungsdimension



Schleusungsplanerstellung - Konzept



ETA - Bestimmung



Daten für Assistenzsystem - Simulation

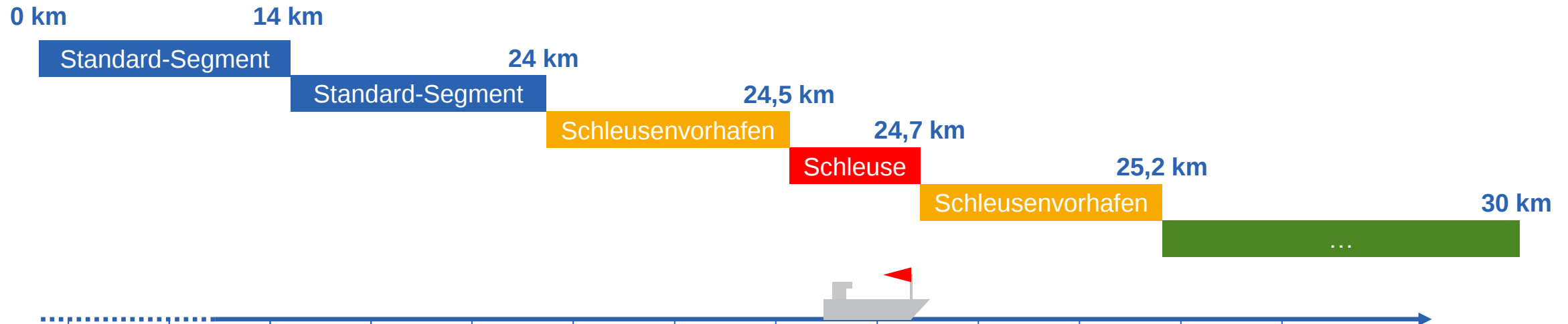
- Erstellung einer **Simulation**
 - Einfache Darstellung der Realbedingungen mit „1D“-Abbildung des Kanals
- Kanal wird in mehrere **unterschiedliche Segmente** unterteilt
 - Standard-Segment, Schleuse, Schleusenvorhafen, Brücke, Kurve, Hafen, ...
 - **Schiffsverhaltensweisen** werden durch Segmente beeinflusst
 - Verfolgungsfahrten, Begegnungen, Überholen
 - Beispiel: **Kurven**

Standard-Segment

Schleusenvorhafen

Schleuse

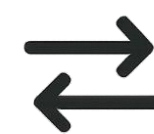
...



Lösungsstrategien

- **FIFO** oder Windhundprinzip (nicht optimiert): Wer zuerst kommt, wird zuerst geschleust
 - **Schichtleiter optimieren selbst schon** teilweise die eigene Schleuse
- **Konventionelle** Lösungsansätze: Mixed Integer Linear Programming (MILP)
 - Nicht für Problemsituation mit ganzheitlicher Optimierung am WDK geeignet
 - Zu lange **Berechnungszeiten**
 - Nicht **robust** genug
- **Reinforcement Learning (RL)** optimierte **Schleusungspläne**
 - Ein RL-Agent **lernt** durch **Versuch und Irrtum** Schleusenpläne zu erstellen
 - **Vorteil:** Berechnungsaufwand findet in der **Vergangenheit** statt

LOCK OPTIMIZATION STRATEGIES



FIFO
First In
First Out



MILP
Mixed Integer
Linear Program



RL

Reinforcement
Learning



Reinforcement Learning - Strategie

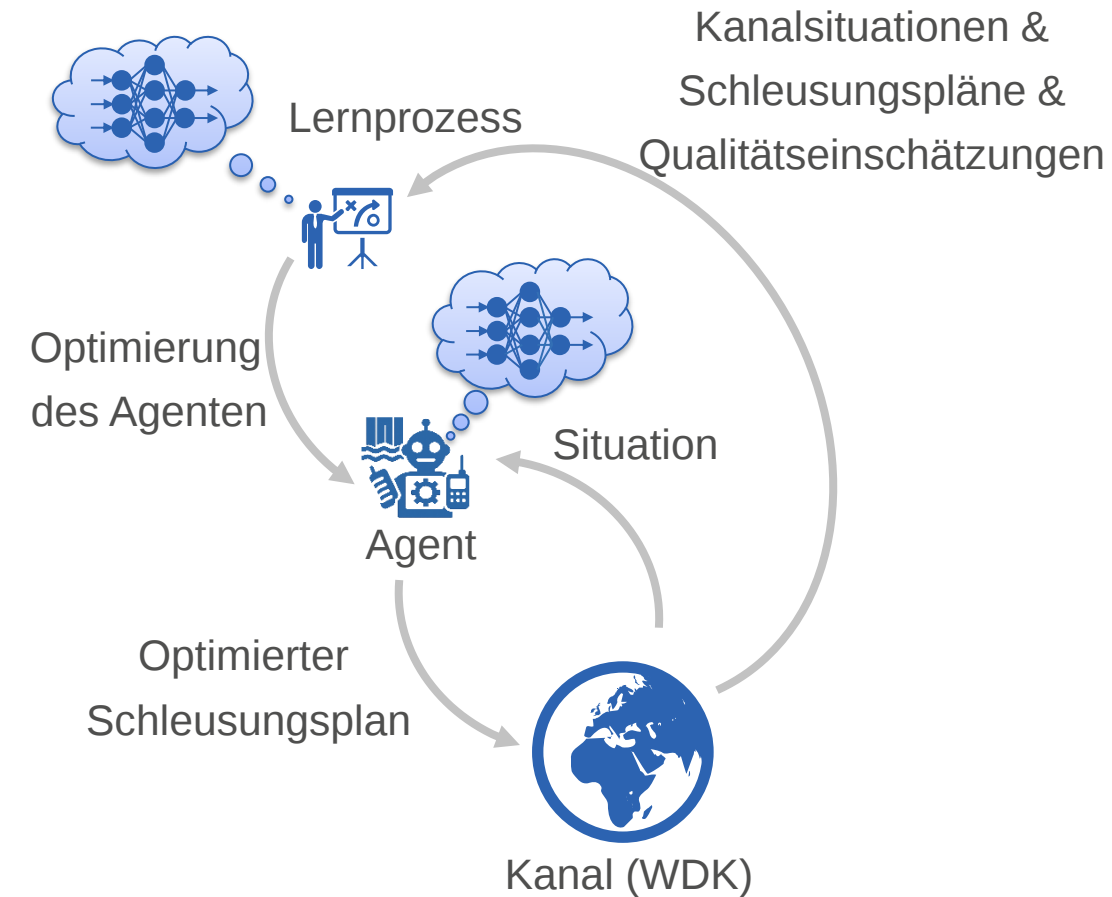
▪ Schleusungsplan-Generierung

- Jedes **Schiff** erhält für jede **Schleuse** ein RTA-Intervall (Requested Time of Arrival)
 - **Diskretisierung:** Zeit in Intervalle je **5 Minuten**

- **Mehrere Schleusenpläne** können erstellt werden
 - Unterschiedlichen **Störfaktoren** abdecken
- Es existiert immer ein **anwendbarer Plan**

▪ Rescheduling (Neuplanung)

- Nach jeder **Schleusung** oder **Schiffseinfahrt** wird geprüft, ob ein **neuer Schleusungsplan** benötigt wird
- Neuer Schleusungsplan ist ähnlich zum vorherigen

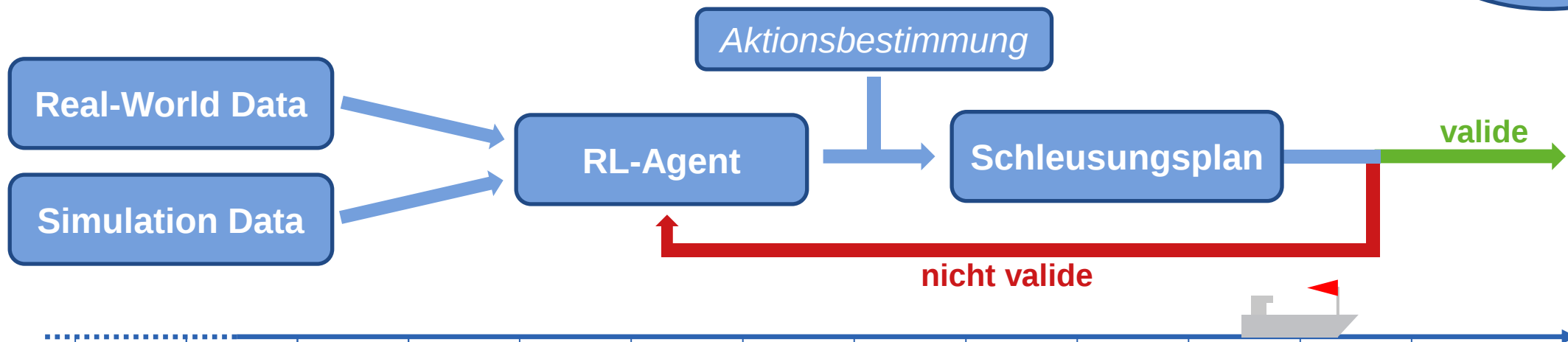
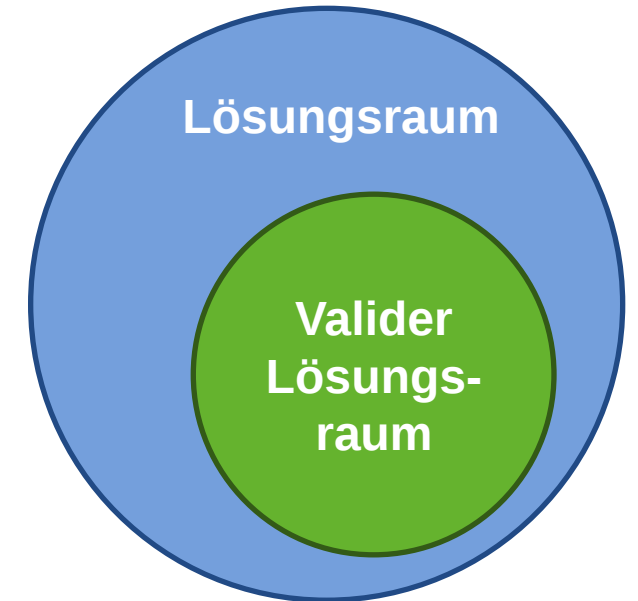


Reinforcement Learning - Evaluation und Absicherung

- Reinforcement Learning Agenten liefern **immer** Ergebnisse
 - Qualität** der Ergebnisse schwankt
 - Validität** und **Stabilität** nicht garantiert

⇒ Entwicklung **valider RL-Methoden** für SOKI

- Evaluierung** der Lösungen
 - Bedingungserfüllung (Constraint Satisfaction)
 - Erreichbarkeit bzw. Umsetzbarkeit der Schleusungspläne



Weiteres Vorgehen und Ausblick

- Iterative Entwicklung
 - Grundlegende RL-Simulation entwickelt
 - Iteratives Hinzufügen von weiteren Funktionalitäten
 - Mehr Einflussfaktoren abbilden
- Besuch beim Schleusenpersonal durchgeführt
 - **Fachwissen** des Schleusenpersonals aufgenommen
 - Weitere Besuche folgen
- Test und Validierung von SOKI:
 - Entwicklung einer **Validierungsroutine**
 - Test durch „**Pilot-Betrieb**“ im WDK





Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Literatur

- (1) Ting, Ching-Jung & Schonfeld, Paul. (1998). Integrated Control for Series of Waterway Locks. Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering-asce - J WATERW PORT COAST OC-ASCE. 124. 10.1061/(ASCE)0733-950X(1998)124:4(199).
- (2) J. F. Campbell, L. D. Smith and D. C. Sweeney, "A Robust Strategy for Managing Congestion at Locks on the Upper Mississippi River," *2009 42nd Hawaii International Conference on System Sciences*, Waikoloa, HI, USA, 2009, pp. 1-10, doi: 10.1109/HICSS.2009.36.
keywords: {Robustness;Rivers;Boats;Navigation;Economic forecasting;Traffic control;Transportation;Analytical models;Supply chains;Discrete event simulation}
- (3) Antwort der Landesregierung, Landtag NRW, Drucksache 17/3209, Online verfügbar unter: <https://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/MMD17-3209.pdf>, zuletzt geprüft am 27.11.2024
- (4) Verkehrsbericht 2022, Hrsg.: Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Online verfügbar unter: https://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Verkehrsberichte/Verkehrsbericht_2022.pdf;jsessionid=2D72ACB5BA7B6EB69F3CCEFF0FBD40FA.live21302?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 27.11.2024