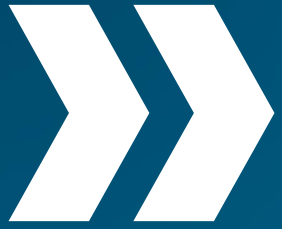


# Maritime Innovation Update

## Maritimes Routing durch Quantum Computing

M.Sc. Sebastian Rubbert

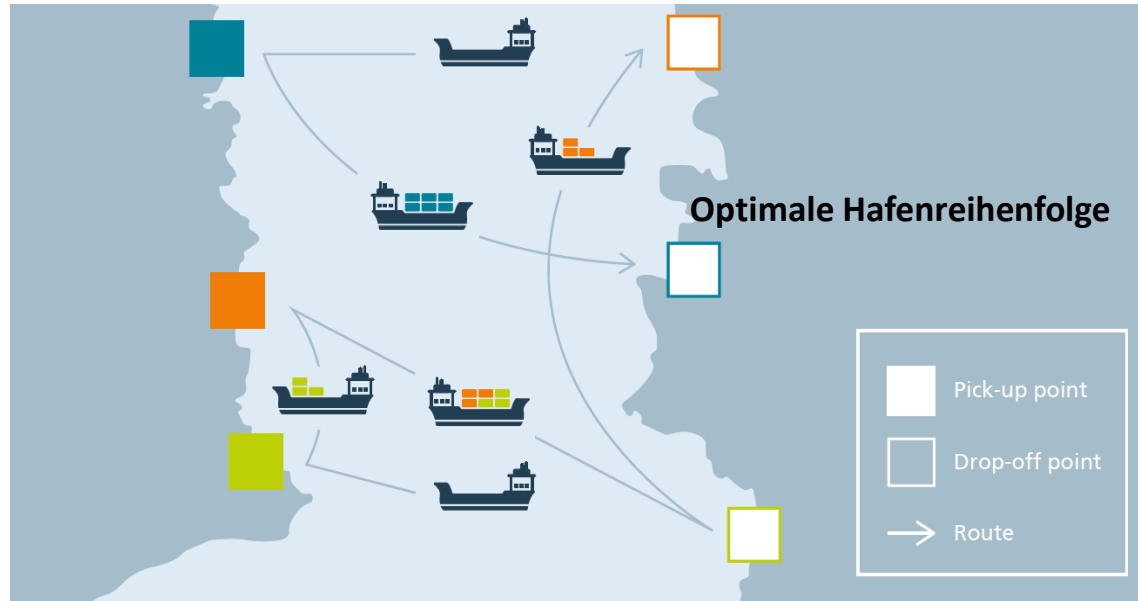




# Mathematische Optimierung in der maritimen Logistik: Automatisierte und systematische Planung

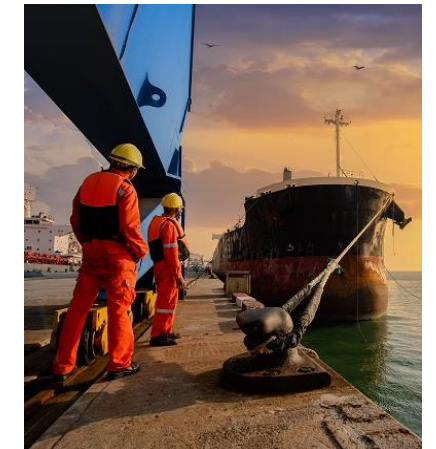
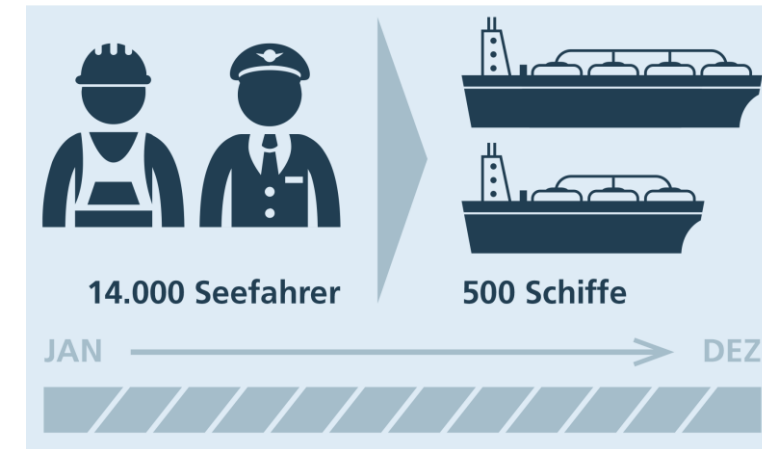
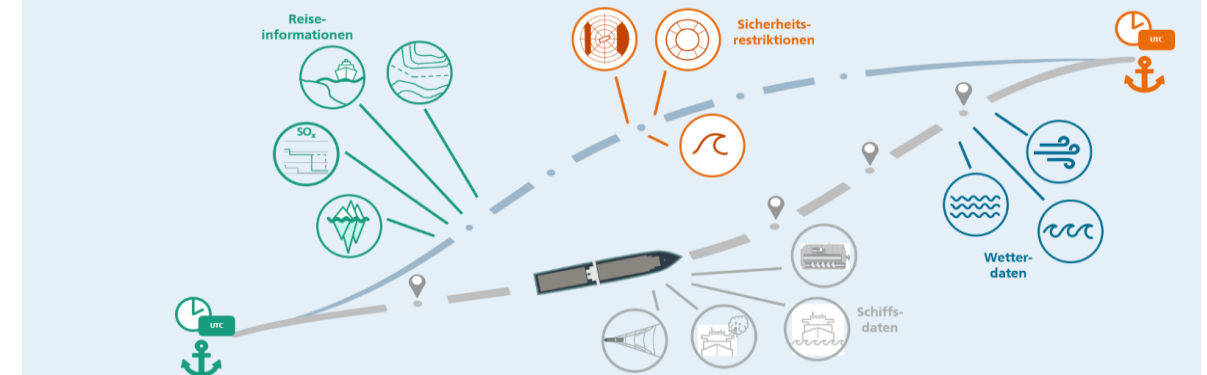
# Ausgewählte Optimierungsprobleme in der maritimen Logistik

## Herausfordernde Probleme für Mensch und Maschine



- Manuelle, erfahrungsbasierte und suboptimale Prozesse
- Fehlende Daten / Digitalisierung (Medienbrüche)
- Keine mathematischen Tools im Einsatz
- Manche Probleme: zu komplex selbst für die besten Rechner

### Routenoptimierung







# Maritime Inventory Routing

# Maritime Inventory Routing

## Problembeschreibung

---

### Kernmodell:

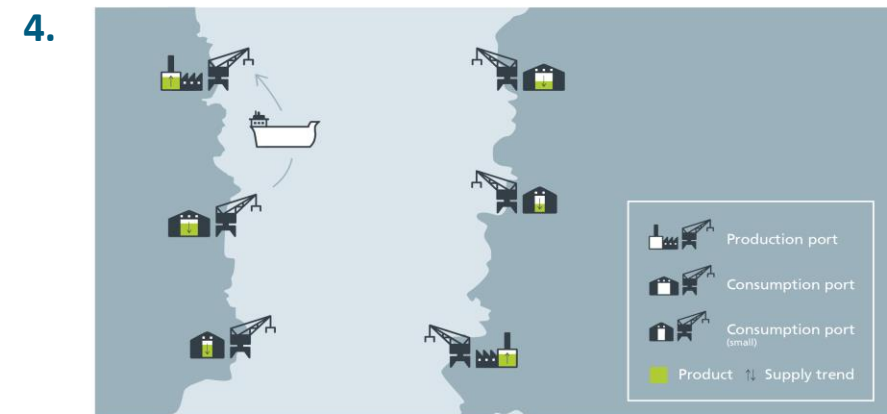
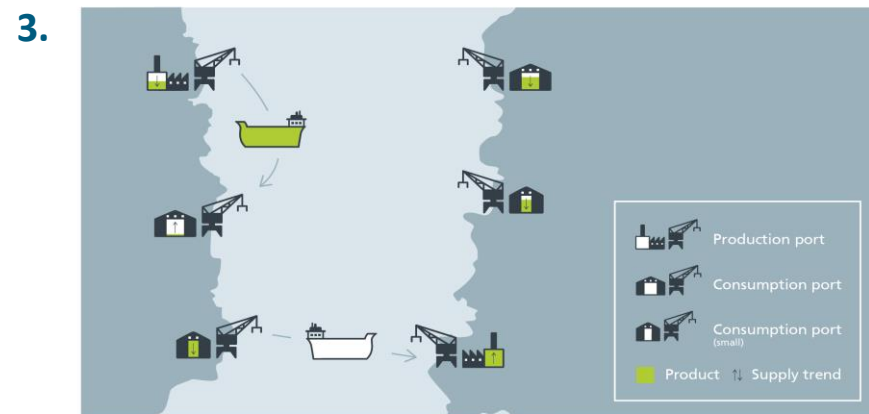
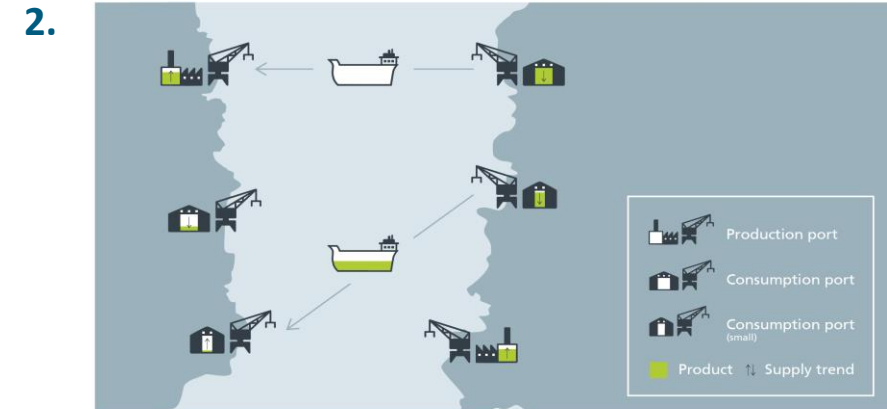
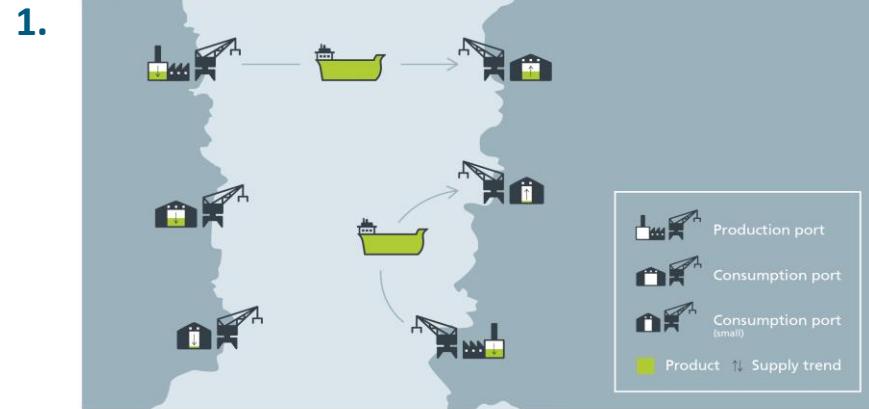
- **Verteilung von Flüssiggütern bzw. Bulk**
- **Häfen mit Lagerbestand und Kapazität**
  - **Produzent oder**
  - **Verbraucher**
- **Schiffe mit Beladung und Kapazität**

**Aufgabe: Planung der Schiffsrouten um die Verteilung der Güter mit minimalem Aufwand zu gewährleisten.**



# Maritime Inventory Routing

## Problembeschreibung als Skizze





# Maritime Inventory Routing

## Problemerkweiterung

---

### Gängige Erweiterungen:

- Zugang zu Spotmarkets
- Verschiedene Schiffsgrößen und Typen
- Eingeschränkte Kompatibilität von Schiffen und Häfen
- Betrachtung von verschiedenen Gütern
- Spezifische Lageranforderungen:
  - Reihenfolge für den gleichen Tank
  - Gefahrgüter



# Maritime Inventory Routing

## Kennzahlen zum Rechenaufwand

---

### (Fast) Minimales Beispiel:

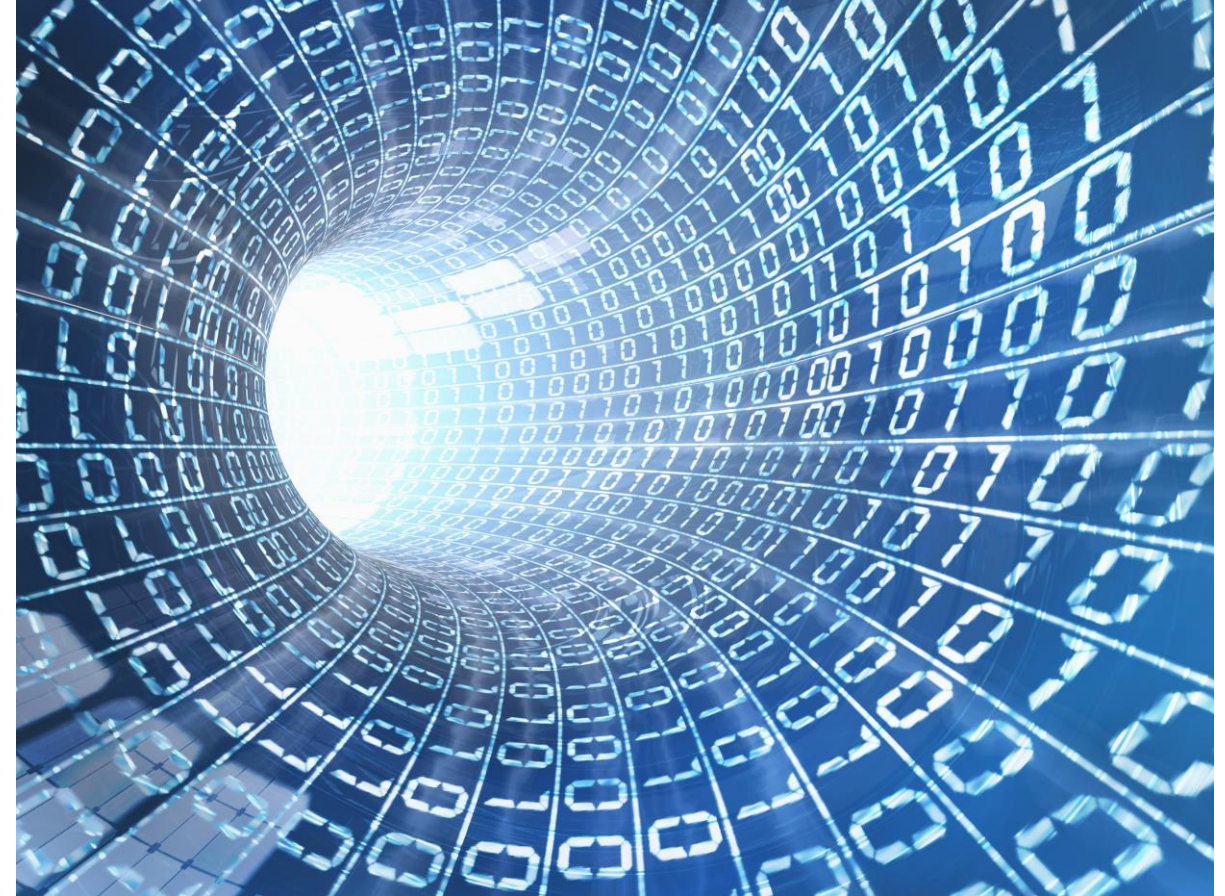
- 1 produzierender Hafen (loading)
- 3 Verbraucher Häfen (discharging)
- 7 Schiffe
- 45 Zeitabschnitte

### Mathematische Modellierung:

- 8000 Variablen
- 7500 Nebenbedingungen
- 6000 der Variablen sind binär (also 0 oder 1)

→ Mehr als  $10^{2400}$  Möglichkeiten

Keine zulässige Lösung nach 24 Stunden (generische Algorithmen)





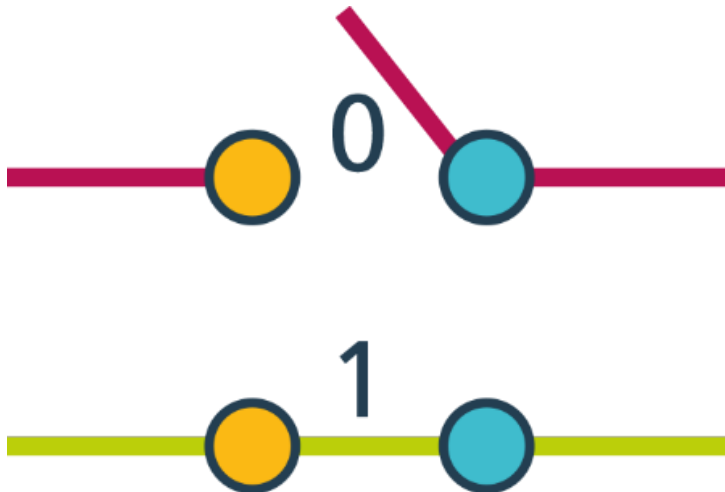


# Quantencomputing: Annealer

# Quantencomputing

## Was ist der Unterschied zwischen klassischen- und Quantencomputern

### Klassisches Bit:



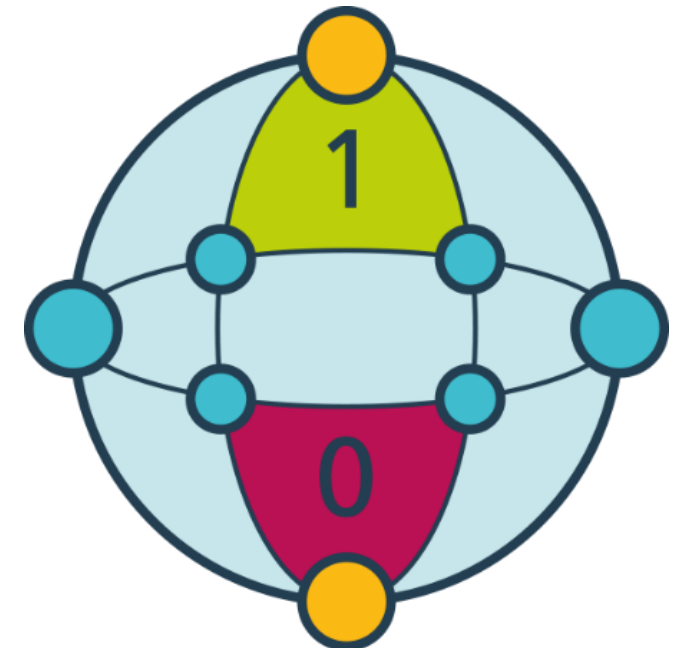
### Unterschiede :

- Quanten-  
/Wahrscheinlichkeitszustände
- Anderes Rechenmodell
- Andere Algorithmen
- Speedup durch andere Rechenwege

Wahrscheinlichkeitszustände bilden hoch dimensionalen (Vektor)- Lösungsraum.

Vgl.  $10^{2400}$  Möglichkeiten

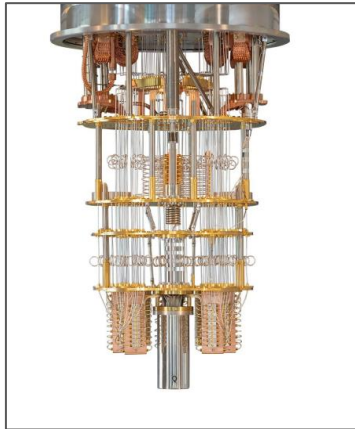
### Quantenbit:



# Quantenannealer

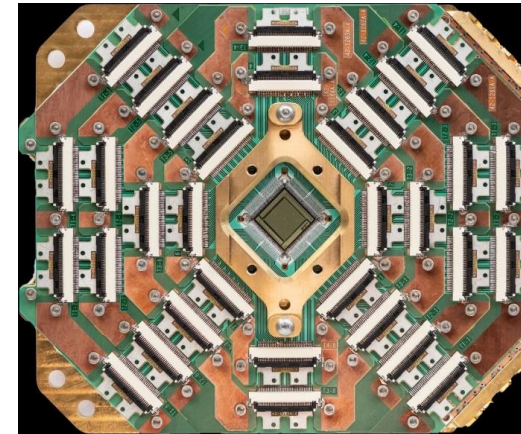
Eine technisch reifere Alternative zum universellen Quantencomputer

## Universeller Quantencomputer:



- **Nutzt Quantenzustände (Wahrscheinlichkeiten)**
- **Benutzt logische Operationen**
- **Allgemein programmierbar**
- **Konzeptionell Verallgemeinerung/Erweiterung von klassischen Rechnern**
- **Technisch noch nicht weit genug ausgereift**

## Quantenannealer:



- **Nutzt Quantenzustände (Wahrscheinlichkeiten)**
- **Spezialisierung: Nur quadratische Optimierung**
- **Nicht allgemein programmierbar: Fester Algorithmus**
- **Hinreichender technischer Reifegrad**





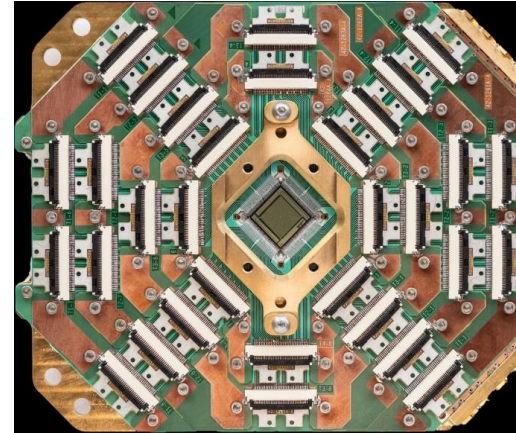
# Maritime Inventory Routing auf einem Quantenannealer

# Erste Testrechnungen

## Generische D-Wave Algorithmen

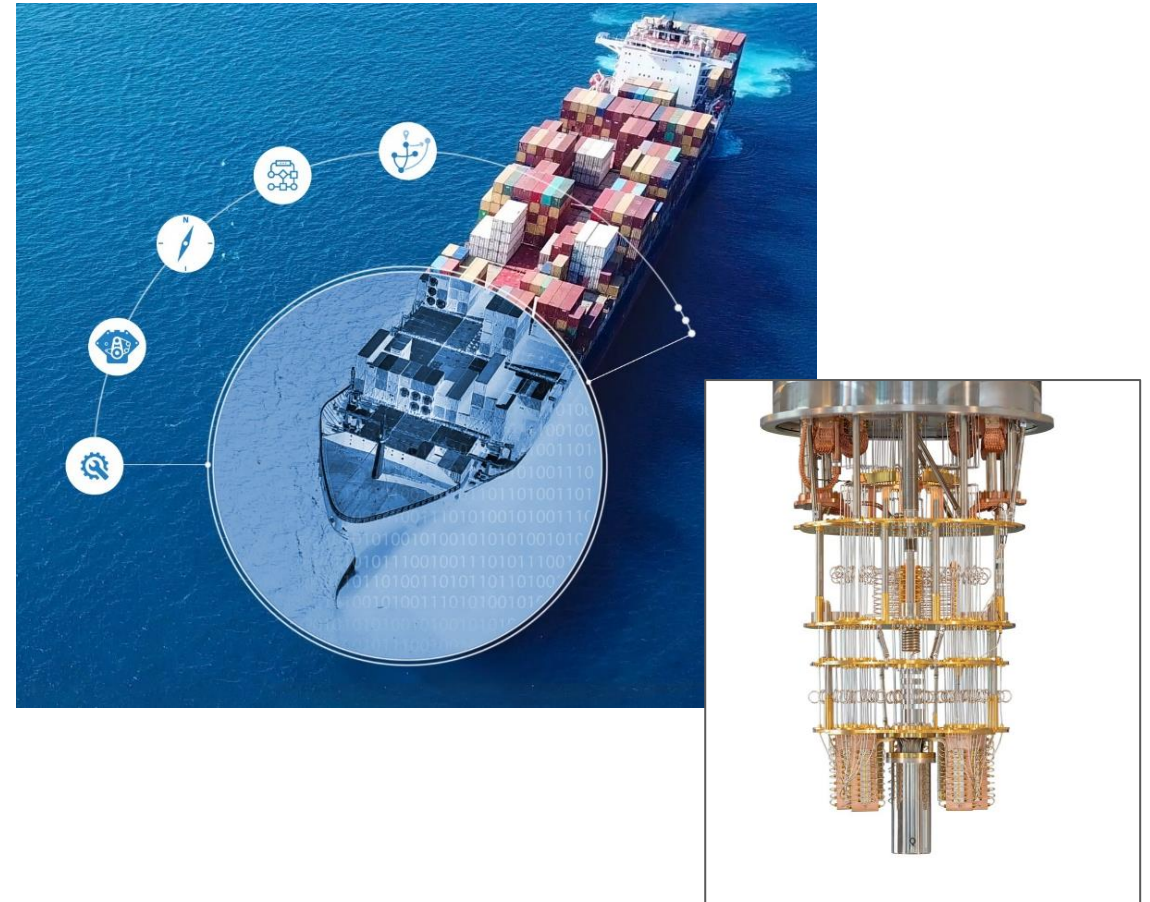
### Kurzzusammenfassung:

- **1 Stunde Rechenzeit – keine zulässige Lösung**
  - **Weitere Rechnungen folgen**
    - **Aktuell läuft eine 5 Stundenrechnung**
    - **Softwareproblem beim Auslesen der Ergebnissen**
  - **Nur 64 ms auf Quantum Processing Unit (QPU)**
  - **Größter Teil der Rechenzeit für Dekomposition**
- **Bottleneck ist nicht in den Quantenrechnungen. Diese sind extrem schnell.**



# Zusammenfassung und Ausblick:

- Die mathematische Formulierung Maritimer Routing Probleme ist oft zu komplex um klassisch gelöst zu werden
- Quantenannealer erlauben bereits sehr schnelle Berechnungen kleiner Optimierungsprobleme
- Bottleneck sind Klassische Rechnungen: Dekomposition in Subprobleme
- Dekompositionen sind ein etabliertes Thema in der Numerik – vgl. Parallelisierung.
- Fokus auf Dekomposition als Heuristik





# Kontakt

**M.Sc. Sebastian Rubbert**

[sebastian.rubbert@cml.fraunhofer.de](mailto:sebastian.rubbert@cml.fraunhofer.de)

+49 (0) 40 / 794 1681 - 14 11



# Maritime Innovation Update

## Automatisierung des Pin-Handlings bei Containertragwagen

Dipl.-Wi.-Ing. Johann Bergmann

