



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK  
INSTITUT FÜR INFORMATIONSSYSTEME

OLDENDORFF® 

Navigate Through Troubled Waters

# Adapt to Environmental Changes in Dynamic Probabilistic Relational Models

PhD Defense

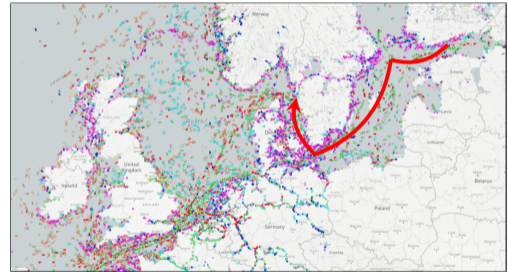
Nils Finke

Lübeck, 12. Oktober 2023

# Worum es heute geht

## Komplexe Dynamische Probabilistische Relationale Modelle

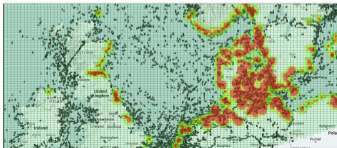
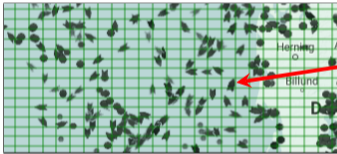
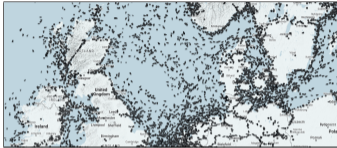
- › **Ladungsströme** ergeben sich zwischen Export- und Importnationen
  - › Schiffsbewegungen bilden Ladungsströme ab
  - › Der Markt ist nicht vollständig transparent
- › **Problemstellung:** Flotten-Positionierung
  - › *Komplexe, relationale Strukturen:* Schiffe  $V$  in Zonen  $Z$  der Welt
  - › *Zeitliche Dimension*



Schiffpositionen (Momentaufnahme für einen Zeitschritt)

# Worum es heute geht

## Komplexe Dynamische Probabilistische Relationale Modelle



Unsicherheit & Unvollständigkeit:

**Zufallsvariablen** zum Zeitpunkt  $t$

› Position eines Schiffes:  $InArea_t(V, Z)$

$InArea_0(v_1, z_1) = true$

› Lokale Verfügbarkeiten:  $Supply_t(Z)$

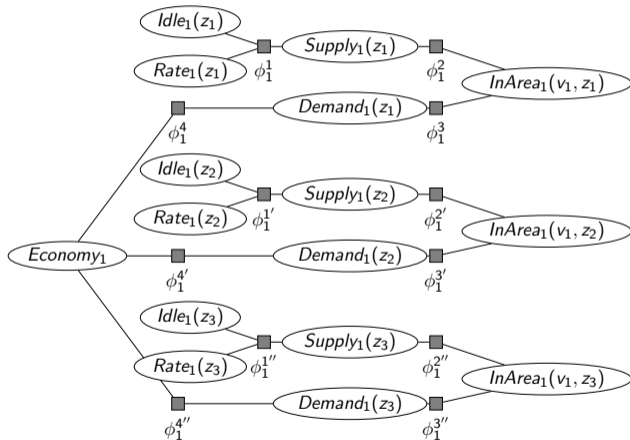
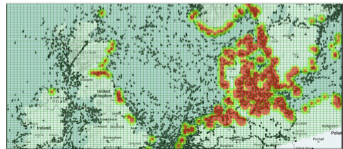
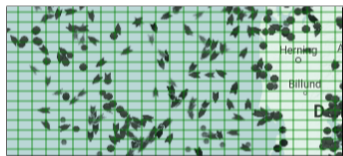
› Lokale Nachfrage:  $Demand_t(Z)$

› Lokale Wartezeiten:  $Idle_t(Z)$

› Globale Wirtschaftslage:  $Economy_t$

# Worum es heute geht

## Komplexe Dynamische Probabilistische Relationale Modelle

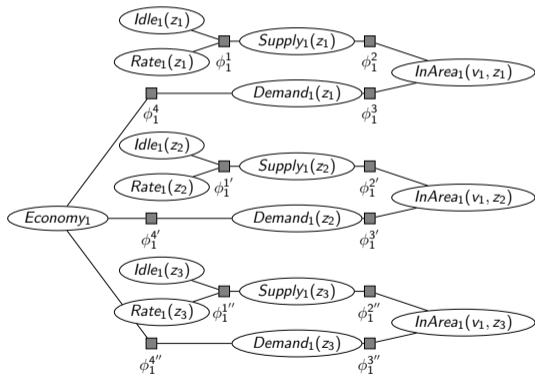


→ **Problem:** Anzahl Zufallsvariablen abhängig von  $V$  und  $Z$

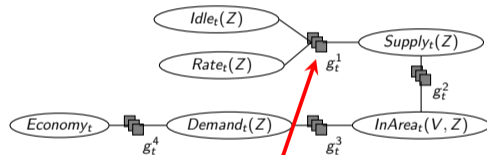
# Strukturgleiche Graphenstrukturen / Symmetrien

Von der *ground* zur *lifted* Repräsentation

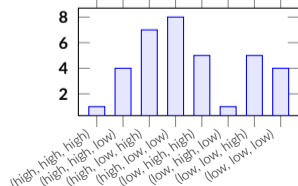
**Ausgangsgraph:** *Ground* Repräsentation



**Zielgraph:** *Lifted* Repräsentation



$\phi_t^1(\text{Idle}_t(Z), \text{Rate}_t(Z), \text{Supply}_t(Z))$

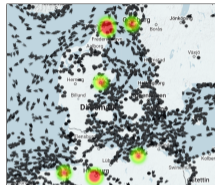


# Reife von Probabilistischen Relationen Modellen

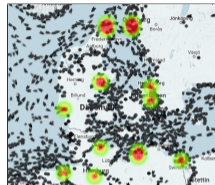
## Für reale Anwendungen (am Bulk-Shipping Beispiel)

### Motivation

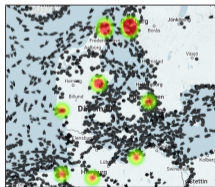
Nils Finke, Marcel Gehrke, Tanya Braun, Tristan Potten, and Ralf Möller. **Investigating Maturity of Probabilistic Graphical Models for Dry-Bulk Shipping.** In Manfred Jaeger and Thomas Dyhre Nielsen (Eds.), Proceedings of the 10th International Conference on Probabilistic Graphical Models, volume 138 of Proceedings of Machine Learning Research, pages 197–208. PMLR, 2020



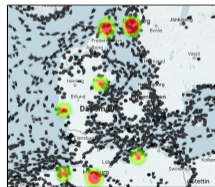
Januar 2021



März 2021



Mai 2021



Juli 2021

Supply über 1.000.000 Tonnen in Zonen im Jahr 2021

# Reife von Probabilistischen Relationen Modellen

Für reale Anwendungen (am Bulk-Shipping Beispiel)

## Motivation

Nils Finke, Marcel Gehrke, Tanya Braun, Tristan Potten, and Ralf Möller. **Investigating Maturity of Probabilistic Graphical Models for Dry-Bulk Shipping**. In Manfred Jaeger and Thomas Dyhre Nielsen (Eds.), Proceedings of the 10th International Conference on Probabilistic Graphical Models, volume 138 of Proceedings of Machine Learning Research, pages 197–208. PMLR, 2020

## Offene Herausforderungen

- › Liftability
- › Aktions-Modellierung
- › Nicht-stationäre Prozesse

# Nicht-stationäre Prozesse im Kontext von ...

| ...Änderungen der  
Domänengröße

---

- › Nils Finke, Tanya Braun, Marcel Gehrke, and Ralf Möller. **Dynamic Domain Sizes in Temporal Probabilistic Relational Models**. The International FLAIRS Conference Proceedings, 34, 2021.

|| ...Abweichen von  
Symmetriestrukturen  
(temporale Symmetrien)

---

- › Nils Finke and Marisa Mohr. **A Priori Approximation of Symmetries in Probabilistic Dynamic Relational Models**. In Stefan Edelkamp, Ralf Möller, and Elmar Rueckert (Eds.), KI 2021: Advances in Artificial Intelligence, pages 309–323. Springer, 2021.
- › Nils Finke, Ralf Möller, and Marisa Mohr. **Multivariate Ordinal Patterns for Symmetry Approximation in Dynamic Probabilistic Relational Models**. In Guodong Long, Xinghuo Yu, and Sen Wang (Eds.), AI 2021: Advances in Artificial Intelligence, pages 543–555. Springer, 2022.
- › Nils Finke, Marisa Mohr, Alexander Lontke, Marwin Zünfle, Samuel Kounev, and Ralf Möller. **Recommendations for Data-Driven Degradation Estimation with Case Studies from Manufacturing and Dry-Bulk Shipping**. In Samira Cherfi, Anna Perini, and Selmin Nurcan (Eds.), Research Challenges in Information Science - 15th International Conference, RCIS 2021, volume 415 of Lecture Notes in Business Information Processing, pages 189–204. Springer, 2021.
- › Nils Finke and Ralf Möller. **On the Approximation of Symmetries and Related Structural Changes in Dynamic Probabilistic Relational Models**. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 7(2), 2022.

||| ...Veränderungen von  
Symmetriestrukturen und  
Verteilungen

---

- › Nils Finke, Tanya Braun, Marcel Gehrke, and Ralf Möller. **Concept Drift Detection in Dynamic Probabilistic Relational Models**. The International FLAIRS Conference Proceedings, 34, 2021.
- › Nils Finke and Ralf Möller. **On the Approximation of Symmetries and Related Structural Changes in Dynamic Probabilistic Relational Models**. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 7(2), 2022.

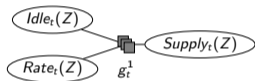




# II: Temporale Symmetriestrukturen

## Groundings im *lifted* Modell

Zeit  $t$   
Events  $E_t$



$t = 0$

$Idle_0(z_1) = high$   
 $Rate_0(z_1) = high$   
 $Supply_0(z_1) = high$

$Idle_0(z_2) = high$   
 $Rate_0(z_2) = high$   
 $Supply_0(z_2) = high$

$t = 1$

$Idle_1(z_1) = ?$   
 $Rate_1(z_1) = ?$   
 $Supply_1(z_1) = ?$

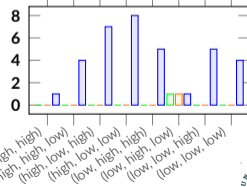
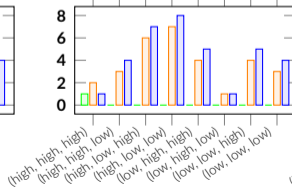
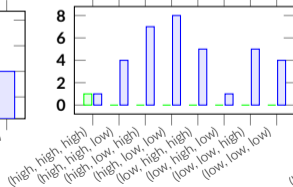
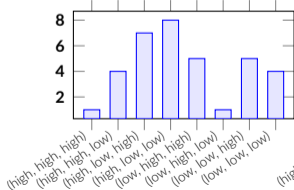
$Idle_1(z_2) = high$   
 $Rate_1(z_2) = high$   
 $Supply_1(z_2) = high$

$t = 2$

$Idle_2(z_1) = low$   
 $Rate_2(z_1) = high$   
 $Supply_2(z_1) = low$

$Idle_2(z_2) = low$   
 $Rate_2(z_2) = high$   
 $Supply_2(z_2) = low$

Potenzialfunktion  $\phi_t^1$



# II: Temporale Symmetriestrukturen

## Vermeiden von Groundings

1. Fall: Informationen sind zum Zeitpunkt nicht verfügbar

$Idle_0(z_1) = high$   
 $Rate_0(z_1) = high$   
 $Supply_0(z_1) = high$

$Idle_1(z_1) = ?$   
 $Rate_1(z_1) = ?$   
 $Supply_1(z_1) = ?$

$Idle_2(z_1) = low$   
 $Rate_2(z_1) = med$   
 $Supply_2(z_1) = med$

$Idle_0(z_2) = high$   
 $Rate_0(z_2) = high$   
 $Supply_0(z_2) = high$

$Idle_1(z_2) = high$   
 $Rate_1(z_2) = high$   
 $Supply_1(z_2) = high$

$Idle_2(z_2) = low$   
 $Rate_2(z_2) = med$   
 $Supply_2(z_2) = med$

2. Fall: Symmetrische Objekte können sich langfristig gleich verhalten, aber kurzfristig abweichend

$Idle_0(z_1) = high$   
 $Rate_0(z_1) = high$   
 $Supply_0(z_1) = high$

$Idle_1(z_1) = low$   
 $Rate_1(z_1) = low$   
 $Supply_1(z_1) = high$

$Idle_2(z_1) = low$   
 $Rate_2(z_1) = high$   
 $Supply_2(z_1) = low$

$Idle_0(z_2) = high$   
 $Rate_0(z_2) = high$   
 $Supply_0(z_2) = high$

$Idle_1(z_2) = high$   
 $Rate_1(z_2) = high$   
 $Supply_1(z_2) = high$

$Idle_2(z_2) = low$   
 $Rate_2(z_2) = high$   
 $Supply_2(z_2) = low$

## Lösungsansatz

- Informationen aus dem **Verhalten** anderer Objekte, die sich tendenziell ähnlich verhalten, ableiten
- Intrinsic Default* in Form eines abgeleiteten Ereignisses auf das unbeobachtete Domänenobjekt anwenden

## II: Temporale Symmetriestrukturen

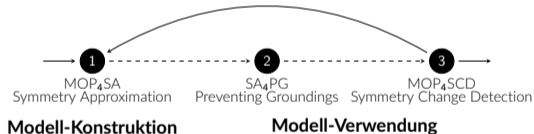
### Symmetrie und Symmetrisches Verhalten

#### Status Quo

- › Über die **Parfaktoren** wissen wir implizit, welche **Objekte symmetrisch** zueinander sind
- › **Momentaufnahme der Symmetrie**, gibt keinen echten Aufschluss über das langfristige Verhalten

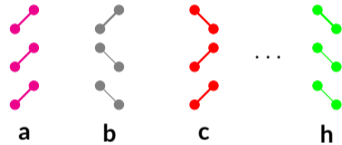
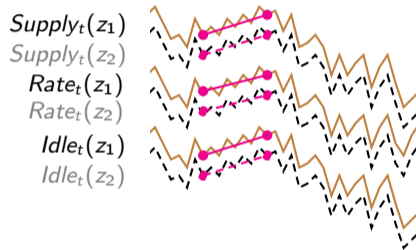
#### Forschungsbeitrag

Methoden zur Vermeidung von Groundings



## II: Temporale Symmetriestrukturen

### MOP<sub>4</sub>SA: Bestimmung von Symmetrieclustern



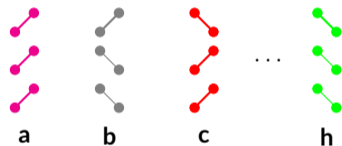
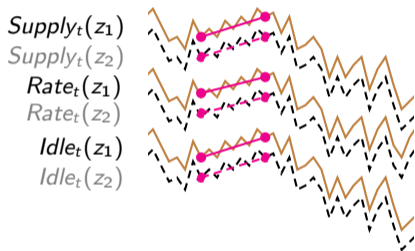
Alle 8 möglichen multivariaten ordinalen Muster der Ordnung  $d = 2$  und Dimension der Variablen  $m = 3$ .

### Zusätzliche Vorverarbeitung

Symmetrisches Verhalten zwischen Domänen-Objekten im Model-Konstruktion-Prozess bestimmen

## II: Temporale Symmetriestrukturen

### MOP<sub>4</sub>SA: Bestimmung von Symmetrieclustern



Alle 8 möglichen multivariaten ordinalen Muster der Ordnung  $d = 2$  und Dimension der Variablen  $m = 3$ .

**Zeitreihen-Analyse:** Ähnlichkeits-Suche

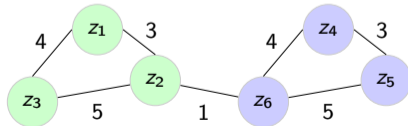
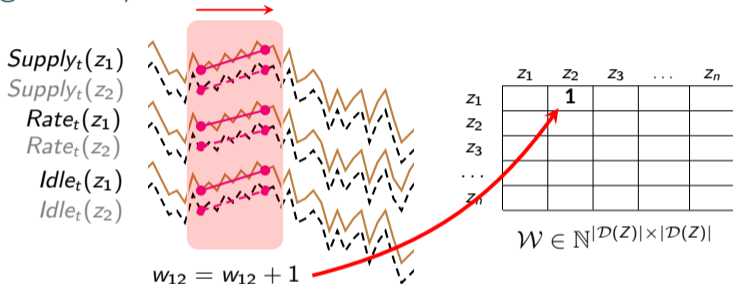
**Herausforderung:** Dimensionalität

- › Mohr et al. (2020b): Multivariate Ordinal Pattern Symbolisierung
- › Finke et al. (2021c): Entropie-Merkmale ähnlich effektiv wie fortschrittlichere Merkmale (z.B. interne Repräsentationen von CNNs)

## II: Temporale Symmetriestrukturen

### MOP<sub>4</sub>SA: Bestimmung von Symmetrieklustern

- 1 Multivariate Mustersymbolisierung
- 2 Ähnlichkeitsgraph
- 3 **Symmetriekluster**

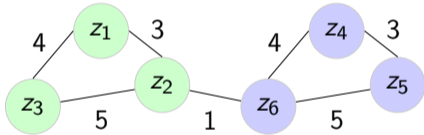


→ Spectral Clustering: Mehrere Symmetry Cluster je Parfaktor  $g \in \mathbb{G}_0$

## II: Temporale Symmetriestrukturen

### SA<sub>4</sub>PG: Preventing Groundings (PG)

Anwenden eines *Intrinsic Defaults*, um Domänen-Objekt Verhalten anzugleichen



$Idle_0(z_1) = high$   
 $Rate_0(z_1) = high$   
 $Supply_0(z_1) = high$

$Idle_0(z_2) = high$   
 $Rate_0(z_2) = high$   
 $Supply_0(z_2) = high$

$Idle_0(z_3) = high$   
 $Rate_0(z_3) = high$   
 $Supply_0(z_3) = high$

$Idle_1(z_1) = ?$   
 $Rate_1(z_1) = ?$   
 $Supply_1(z_1) = ?$

$Idle_1(z_2) = high$   
 $Rate_1(z_2) = high$   
 $Supply_1(z_2) = high$

$Idle_1(z_3) = ?$   
 $Rate_1(z_3) = ?$   
 $Supply_1(z_3) = ?$

$Idle_2(z_1) = low$   
 $Rate_2(z_1) = high$   
 $Supply_2(z_1) = low$

$Idle_2(z_2) = low$   
 $Rate_2(z_2) = high$   
 $Supply_2(z_2) = low$

$Idle_2(z_3) = low$   
 $Rate_2(z_3) = high$   
 $Supply_2(z_3) = low$

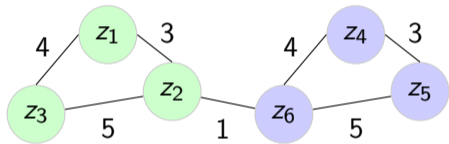
- › *Dominating Observation* extrahieren und anwenden
- › *Angleich-Vorgänge* auf Schwellenwert beschränkt

→ Zwischen-Fazit: **MOP<sub>4</sub>SA & SA<sub>4</sub>PG** für kurze Zeiträume

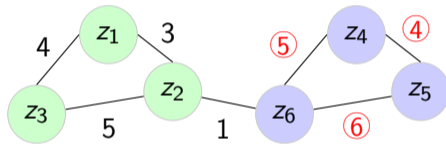
# III: Veränderung von Symmetriestrukturen

## MOP<sub>4</sub>SCD: Symmetry Change Detection (SCD)

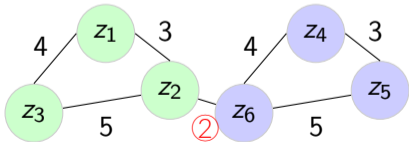
Prüfe, ob sich der Ähnlichkeitsgraph (i) signifikant (ii) unausgewogen verändert hat und bestimme Symmetrie-Clustern über MOP<sub>4</sub>SA neu



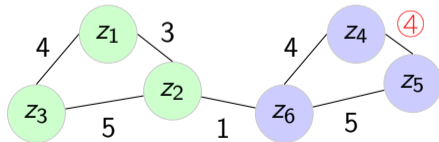
Symmetriediagramm mit zwei Symmetrieclustern (blau und grün)



Beispiel für eine *balanced* Veränderung



Beispiel für eine *unbalanced intercluster* Veränderung

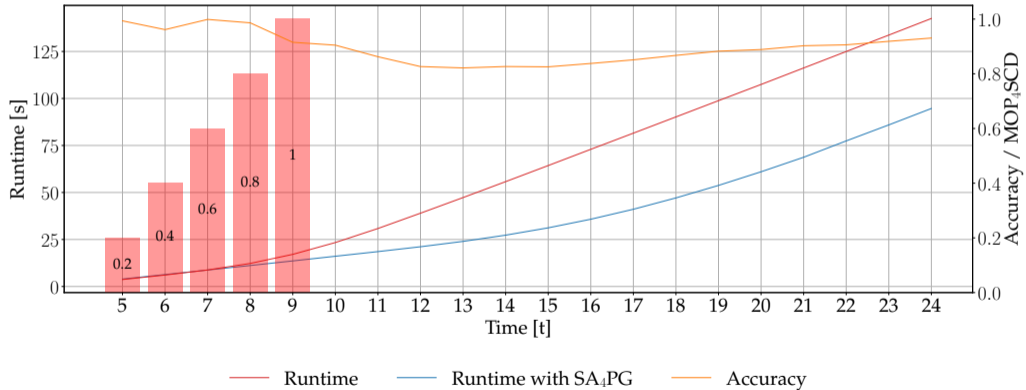


Beispiel für eine *unbalanced intracluster* Veränderung



# Verhindern von Groundings

Fazit: MOP<sub>4</sub>SA, SA<sub>4</sub>PG, & MOP<sub>4</sub>SCD



# Zusammenfassung und Ausblick

	<ul style="list-style-type: none"><li>› Erweiterung auf dynamische Domänengrößen</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>› Konstruktion zeitlicher Symmetrien (Symmetriecuster) zur Erhaltung einer gelifteten Darstellung</li><li>› MOP<sub>4</sub>SA &amp; SA<sub>4</sub>PG</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>› Erkennung von Umweltveränderungen (Concept Drifts und Symmetriecuster)</li><li>› MOP<sub>4</sub>SCD</li></ul> <ul style="list-style-type: none"><li>› Ausnutzung von Symmetriecustern bei der Domänen-Erweiterung</li><li>› Inkrementelle Clustering Ansätze</li><li>› Belief Revision bei falschen Vorhersagen</li><li>› Untersuchung von Mustern in der Verschmelzung und Aufspaltung von Symmetriecustern</li></ul>

Vielen Dank!

Nils Finke

✉ [mail@nils-finke.com](mailto:mail@nils-finke.com)

✉ [finke@ifis.uni-luebeck.de](mailto:finke@ifis.uni-luebeck.de)



# References

- › Marcel Gehrke, Ralf Möller, and Tanya Braun. Taming Reasoning in Temporal Probabilistic Relational Models. In Proceedings of the 24th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2020), 2020.
- › Marisa Mohr, Florian Wilhelm, Mattis Hartwig, Ralf Möller, and Karsten Keller. New Approaches in Ordinal Pattern Representations for Multivariate Time Series. In Proceedings of the 33rd International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, 2020.
- › Parag Singla and Pedro Domingos. Lifted First-Order Belief Propagation. In Proceedings of the 23rd National Conference on Artificial Intelligence, page 1094–1099. AAAI Press, 2008.
- › Kristian Kersting, Babak Ahmadi, and Sriraam Natarajan. Counting Belief Propagation. In Proceedings of the 25th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, pages 277–284. AUAI Press, 2009.
- › Babak Ahmadi, Kristian Kersting, Martin Mladenov, and Sriraam Natarajan. Exploiting Symmetries for Scaling Loopy Belief Propagation and Relational Training. Machine Learning, 92:91–132, 2013.