

Entwicklung einer Methode zur betrieboptimierten Netzentwicklung und Quantifizierung der Simulationskomplexität maritimer Energiesysteme

Timon S. Hartwich^{1*}, Jana Ihrens^{1*},
 Prof. Dr.-Ing. Thorsten A. Kern¹

¹ Technische Universität Hamburg,
 Institut für Mechatronik im Maschinenbau
 *gleichwertiger Beitrag

1. Einführung

Die Schifffahrt verantwortet ca. 3% der Treibhausgasemissionen [1]. Die Hauptstellschraube zur Emissionssenkung ist das Schiffenergiesystem. Eine vielversprechende Maßnahme ist die Umstellung auf Gleichstromnetze, die höhere Effizienzen durch geringere Wandlungsverluste ermöglichen.

Für ein ideales Energiesystem müssen dabei die *geeigneten* emissionsfreien Energiequellen und die *optimierte* Betriebsweise ermittelt werden. In den Simulationen und Laboruntersuchungen zur Entwicklung, Optimierung und Validierung dieser neuartigen Netzkonzepte wird eine hohe Genauigkeit bei niedriger Rechen- und Entwicklungszeit angestrebt, um *Risikobereitschaft* und *Systemüberdimensionierung* gegeneinander abzuwägen.

2. Gleichspannungsnetze auf Schiffen

- Schiffsnetze haben hohe Anforderungen an Leistung, Energiemenge und Verfügbarkeit
- DC-Netze begünstigen die Einbindung erneuerbarer Energien und verfügen über eine hohe Anpassbarkeit

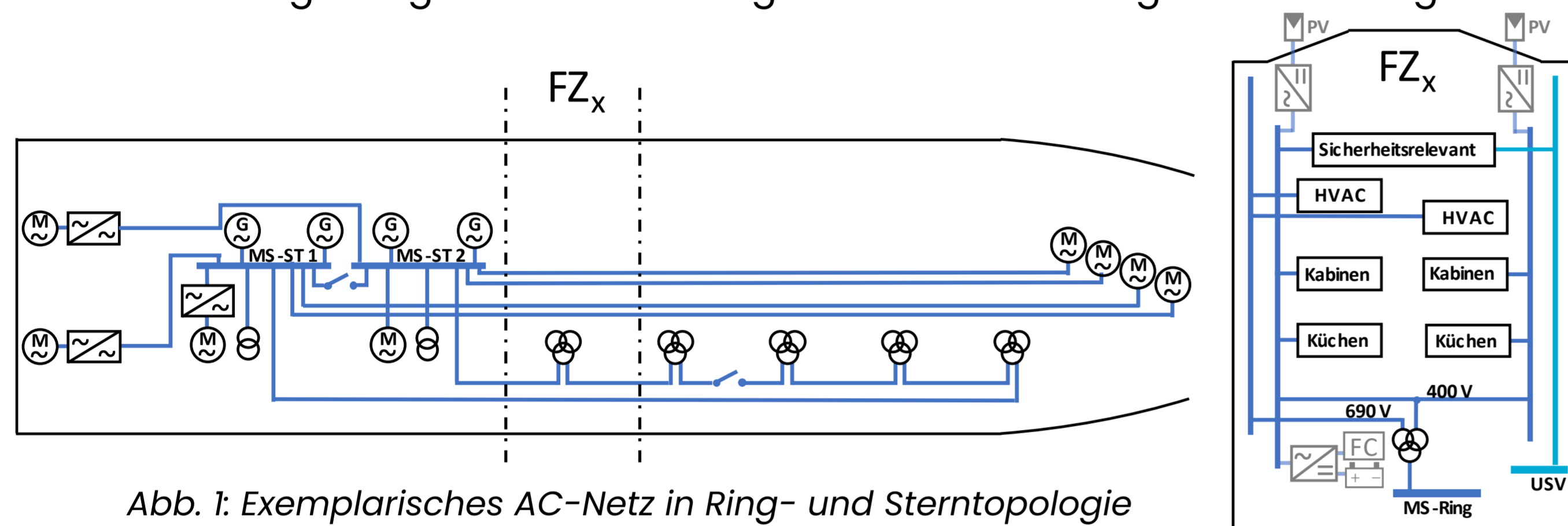


Abb. 1: Exemplarisches AC-Netz in Ring- und Sterntopologie

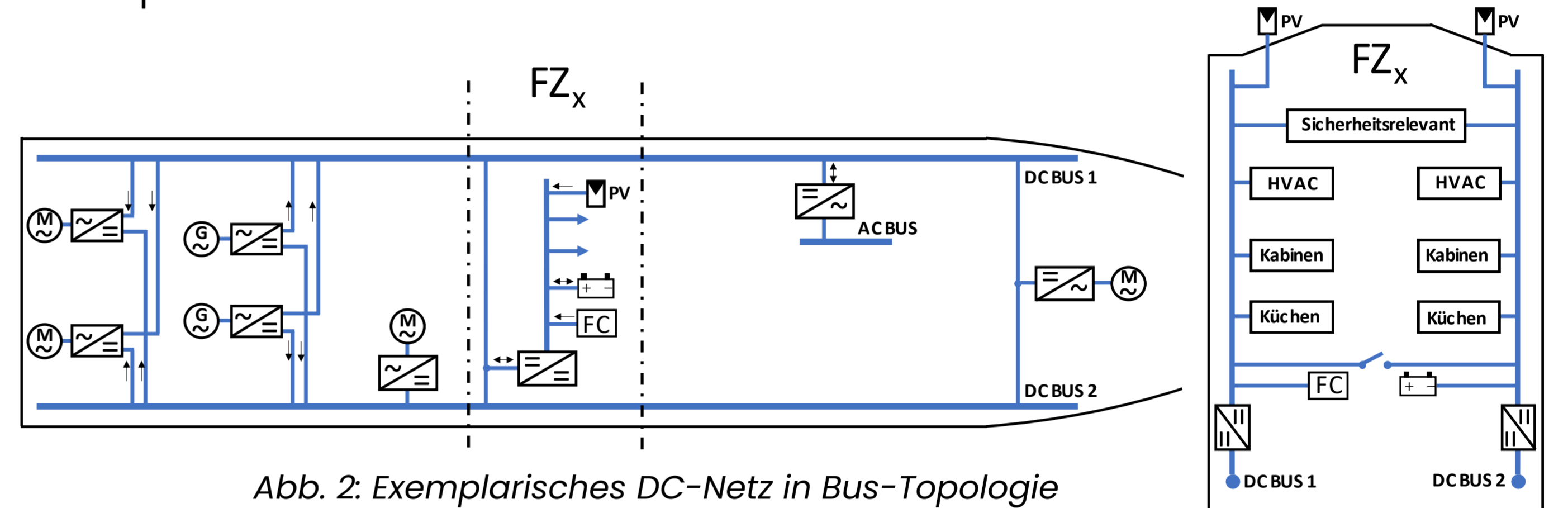


Abb. 2: Exemplarisches DC-Netz in Bus-Topologie

Motivation der Energiesystemoptimierung

- Klassischer dieselbasierter Energiesystemaufbau nicht zukunftsfähig
- Vielzahl an Technologien für zukünftige Energiesysteme verfügbar
- Stark unterschiedliche Charakteristika von Brennstoffzellen, Batterien und vers. Verbrennungsmotoren [2]
 - Fehlende standardisierte Planungsverfahren → Planungsunsicherheit
 - Komplexes Zusammenspiel unterschiedlicher Energieformen (Elektrizität, Wärme, Kälte)
 - Kein etablierter zukunftsfähiger Kraftstoff
- Forschungsfrage zur Energiesystemoptimierung für verschiedene Schiffstypen:
 - „Aus welchen Energiequellen, -speichern und -wandlern ist das Energiesystem aufzubauen, wie sind diese zu dimensionieren und wie ist es in seinen Freiheitsgraden besonders günstig zu betreiben?“

Funktionsweise der Energiesystemoptimierung

- Lastprofile extern vorgegeben
- Optimierung kann in allen Phasen des Schiffentwurfs in verschiedenen Detailstufen ausgeführt werden

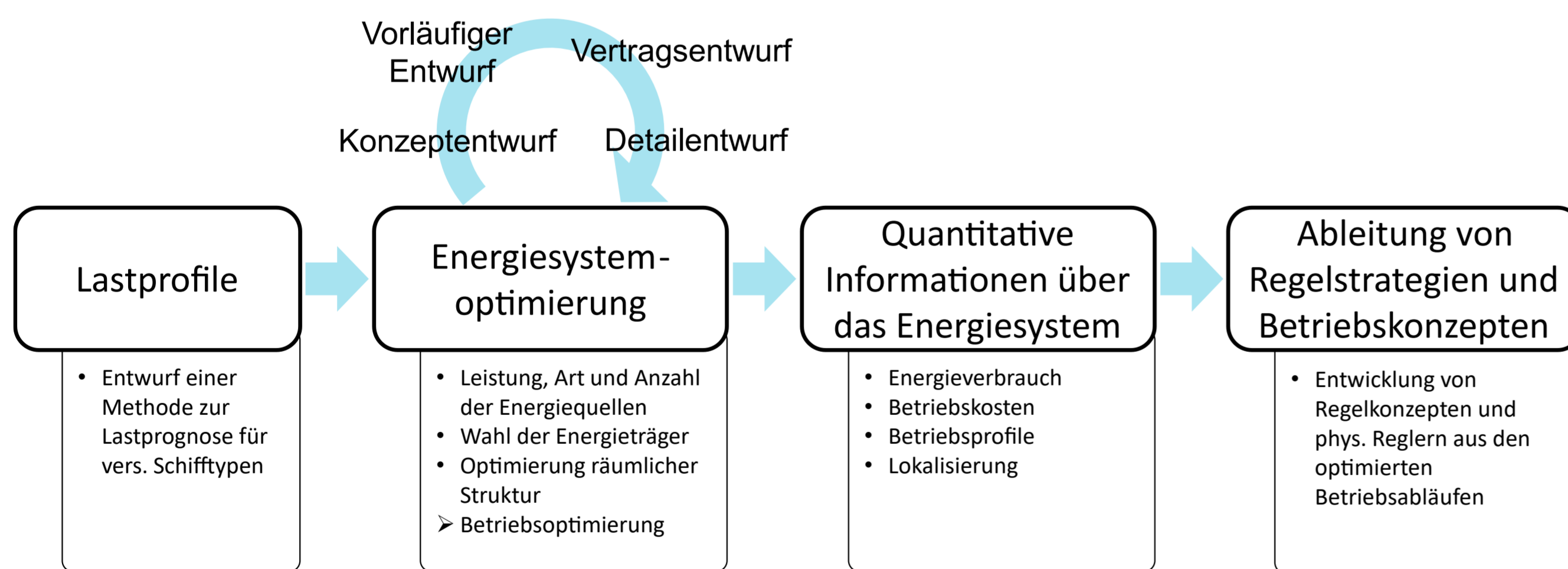


Abb. 3: Ablauf der Energiesystemoptimierung

- **Ziel: Verknüpfung von Schiffentwurf und Energiesystemoptimierung**
- Reduktion des Entwicklungsaufwands durch frühzeitige Empfehlungen zur Optimierung der Energiesystemstruktur
- Nutzung der Ergebnisse im Detailentwurf zur Ausgestaltung des Energiemanagementsystems

Simulationskomplexität

- Simulationskomplexität als Ressourcen, die im Simulationsprozess von der Entwicklung bis zur Auswertung erforderlich sind:
 - Schwierigkeit, ein Modell bzw. das zugrundeliegende System zu verstehen und zu entwickeln
 - Modell Erstellung
 - Modell Ausführung
 - Rechenressourcen

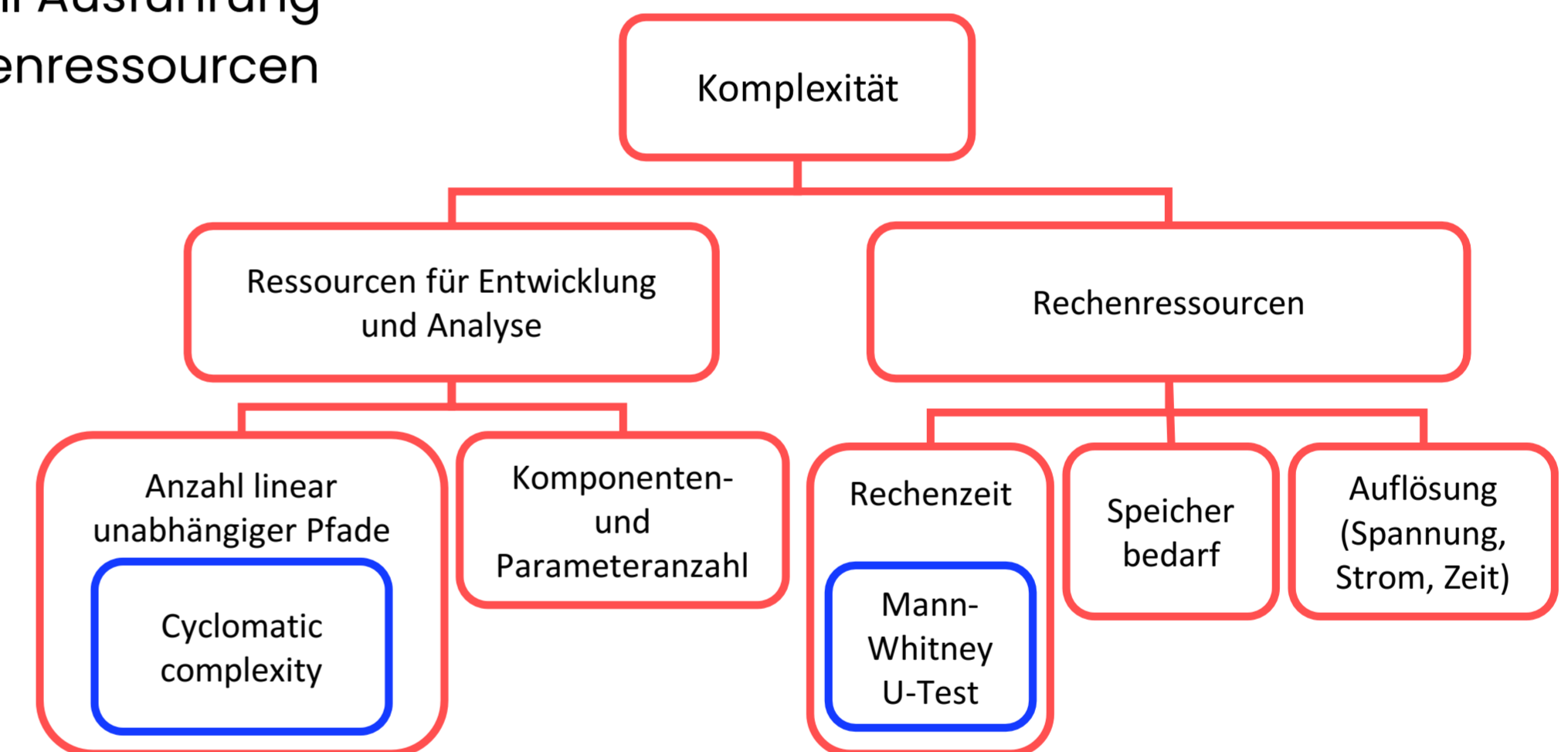


Abb. 4: Komplexitätsmetriken [3]

- Für die Quantifizierung der Komplexität können Metriken genutzt werden (Abb. 4)
- Bidirektionalität erhöht die Komplexität einer Simulation
 - höhere Kosten durch gesteigerten Ressourcenbedarf der Simulation

Optimierung der Simulationskomplexität

- Die Kosten von Simulationen sind abhängig von Rechenanforderungen, den Ressourcen für Entwicklung und Analyse und den Kosten für Risiken (Systemausfall, Geräteschäden, Personenschäden usw.)

$$C_{sim} = \sum_{i=1}^n c_i = c_{runtime} + c_{dev,analysis} + c_{risk}$$

- Die Kostenfunktion kann bereits vor Erstellung der Simulationsmodelle für den Anwendungsfall optimiert werden
- Teilweise können bereits geringfügige Zugeständnisse bei der Genauigkeit zu weniger komplexen Modellen mit geringeren Kosten führen

Zusammenfassung

- Entwurfsintegrierte Energiesystemoptimierung ermöglicht, das Zusammenspiel der verschiedenen zukünftigen Energiequellen voll auszunutzen
- Optimierung der Simulationskomplexität kann den Ressourcenbedarf der Simulation minimieren
 - **Maritime Energiesysteme profitieren von bereits frühzeitig im Schiffsentwurf eingesetzter Optimierung**

References

- [1] Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>, abgerufen am 25.11.2022
 [2] T. S. Hartwich, K. Sommer, T. A. Kern, and L. Häffner, "DC-Netze: Ein ganzheitlicher Systementwurf für verschiedene Schiffstypen." [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11420/12914>
 [3] J. Ihrens, T. Schneider, and T. A. Kern, "Assessing the complexity of dc-system simulations," in 2022 IEEE Workshop on Complexity in Engineering (COMPENG). IEEE, 18.07.2022 - 20.07.2022, pp. 1-4.