

Ganzheitlicher Modellierungsansatz zur simulationsbasierten Strategieauswahl in der Instandhaltung

Benchmarking operativer Instandhaltungsstrategien unter Berücksichtigung soziotechnischer Aspekte und Internet der Dinge am Beispiel eines Offshore-Windparks.

Clemens Gutschi

Vorstellung

Dipl.-Ing. Clemens Gutschi

- Institut für Maschinenbau- und Betriebsinformatik
- Leitung: Prof. Siegfried Vössner
- Forschungsgebiete
 - Operation Research & Management Science
 - Human-centered System Design
- Arbeitsgebiete
 - Production & Logistics
 - Health Care
 - Public Safety and Disaster Relief



■ Forschungsgruppe Operation Research

- Modellierung und Simulation
- Optimierung
- Decision Support Systeme

■ Schwerpunkte

- Instandhaltungsstrategieauswahl
- Instandhaltungsmanagement
- Prädiktive Instandhaltung
- Produktionsplanung und -kontrolle
- Systems Engineering

Agenda

- Motivation
- Ganzheitlicher Modellierungsansatz
 - Systemidentifikation
 - Konzeptuelle Modellierung
- Simulationsstudie Offshore Windpark
 - Problemsituation
 - Modellierung und Simulation
 - Evaluierung
- Weitere Anwendungsbeispiele
- Zusammenfassung

Motivation

Warum ganzheitliche Modellierung zur IH-Strategieauswahl?

- Digitalisierung
- IoT und Big Data
- IT-Sicherheit
- Technologischer Wandel
- Komplex verkettete Produktionssysteme



Sources: <https://www.youtube.com/watch?v=0ZRE4qjuYh8> „Rolls-Royce | Unsere Vision von der IntelligentEngine“
<https://www.un.org/development/desa/disabilities/about-us/sustainable-development-goals-sdgs-and-disability.html>
<https://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/ever-given-im-suezkanal-schiffsversicherer-will-kanalbehoerde-mitverantwortlich-machen-a-a5ba57b4-4ded-4407-b06a-82328b7697ac>

Motivation

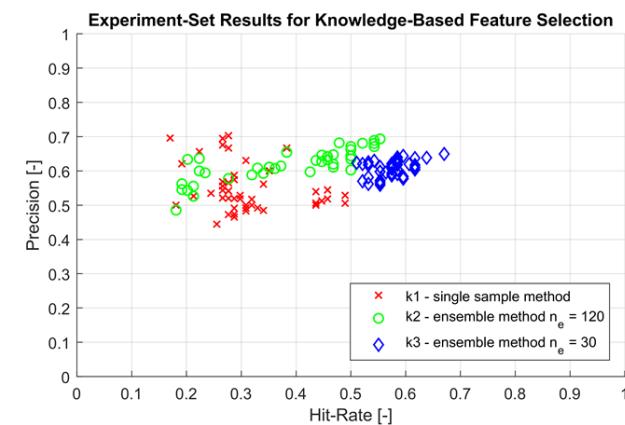
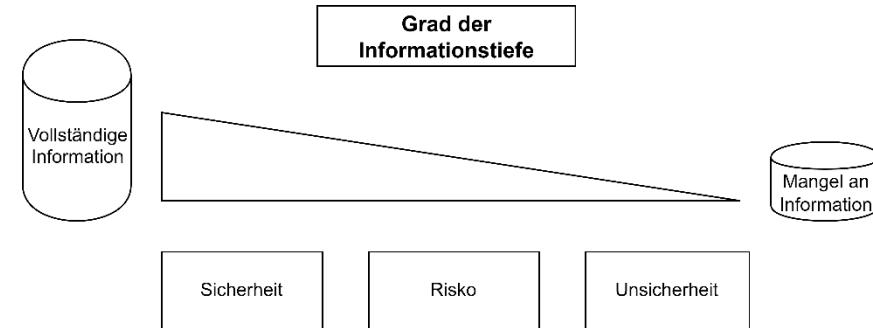
Warum ganzheitliche Modellierung zur IH-Strategieauswahl?

■ Digitalisierung

- Höherer Wissensstand der Anlagenzustände
- datengetriebene Diagnose- und Prognosemodelle
- Data Mining und intelligente Analysemethoden
- Smarte Planung und Steuerung
- ...

■ Komplexität

- IT-Infrastruktur
- Sensornetzwerke
- Höchste Sicherheitsansprüche
- Zuverlässigkeit und Abhängigkeit?
- Vision vs. Nutzen?



Wo ist der Einsatz von moderner Technologie sinnvoll?

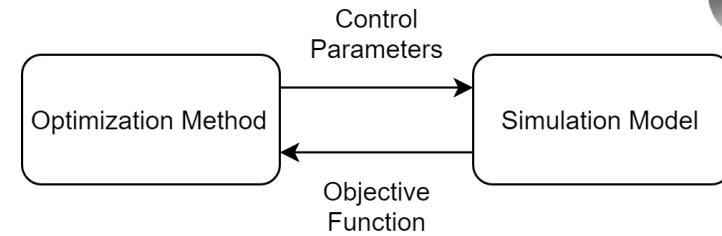
Sources: Ding, S. H.; Kamaruddin, S. (2015): Maintenance policy optimization-literature review and directions. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 76, Nr. 5, S. 1263-1283
Gutschi, C.; Furian, N.; Suschnigg, J.; Neubacher, D.; Voessner, S. (2019): Log-based predictive maintenance in discrete parts manufacturing. In: Procedia CIRP, Vol. 79, S. 528-533

Ganzheitlicher Modellierungsansatz

Warum ganzheitliche Modellierung zur IH-Strategieauswahl?

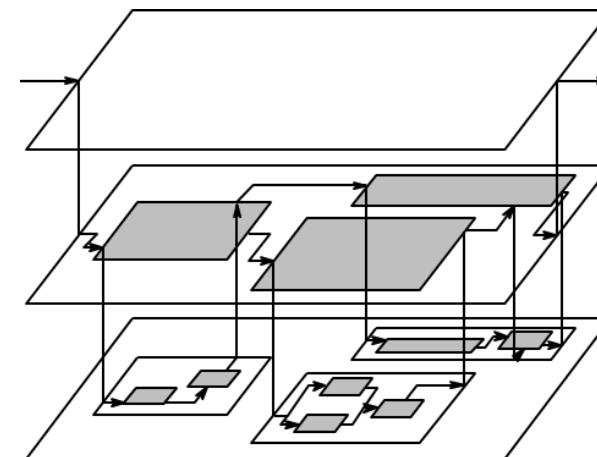
■ Simulation

- Decision Support Tool bei (strategischen) Entscheidungen
- Kosten-Nutzen-Analyse: Reduktion der Unsicherheiten
- Optimierung von Systemen



■ ganzheitliche Modellierung

- Integration der Wertschöpfung
- Abbild des Zielsystems (so gut als nötig!)
- Entitäten, Abhängigkeiten, Prozesse (Relevanz?)
- Ressourcen, Verfügbarkeiten, Skills



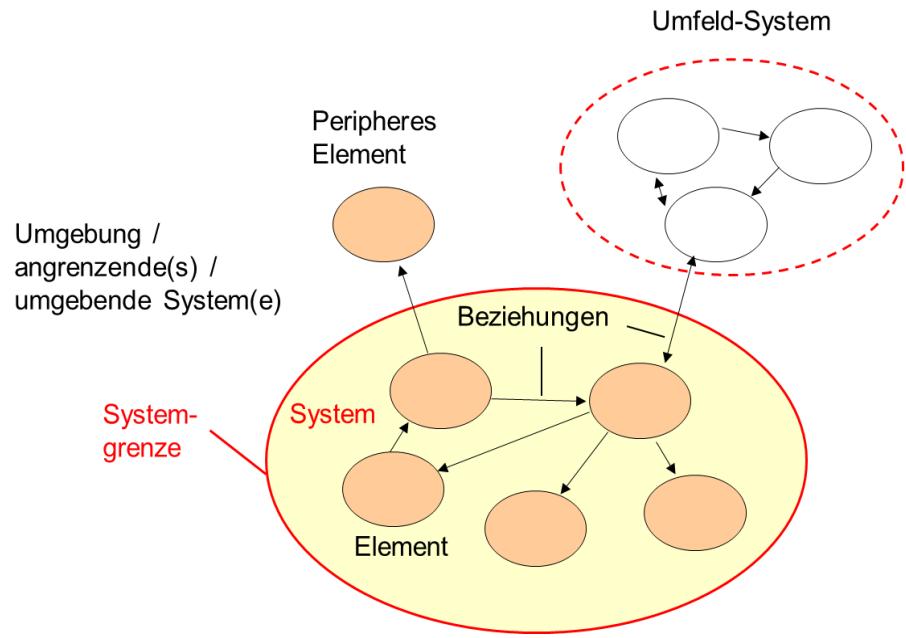
■ Strategiefindung in der Instandhaltung

- Betriebssimulation
- Relevante (Sub)prozesse, Steuerung, Ressourcen

Ganzheitlicher Modellierungsansatz

Wesentliche Schritte zur Modellbildung

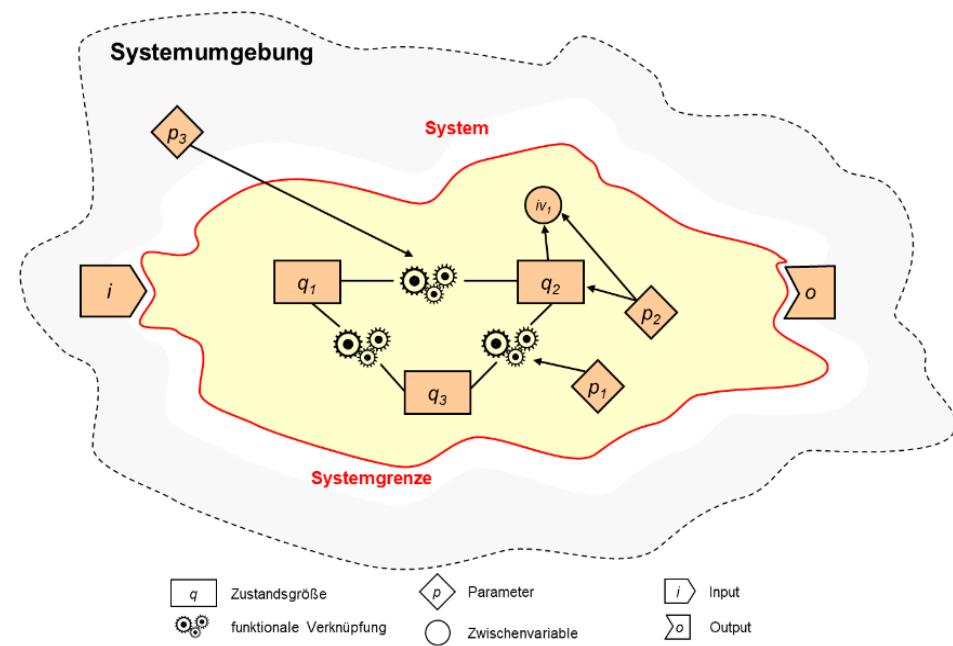
■ Systemidentifikation



→ von der Realität abgegrenztes Zielsystem

Sources: Haberfellner, R.; Fricke, E.; de Weck, O.; Vössner, S. (2019): Systems Engineering: Fundamentals and Applications. 1. Edition, Birkhäuser-Springer, ISBN 978-3030134334

■ Systemstrukturierung

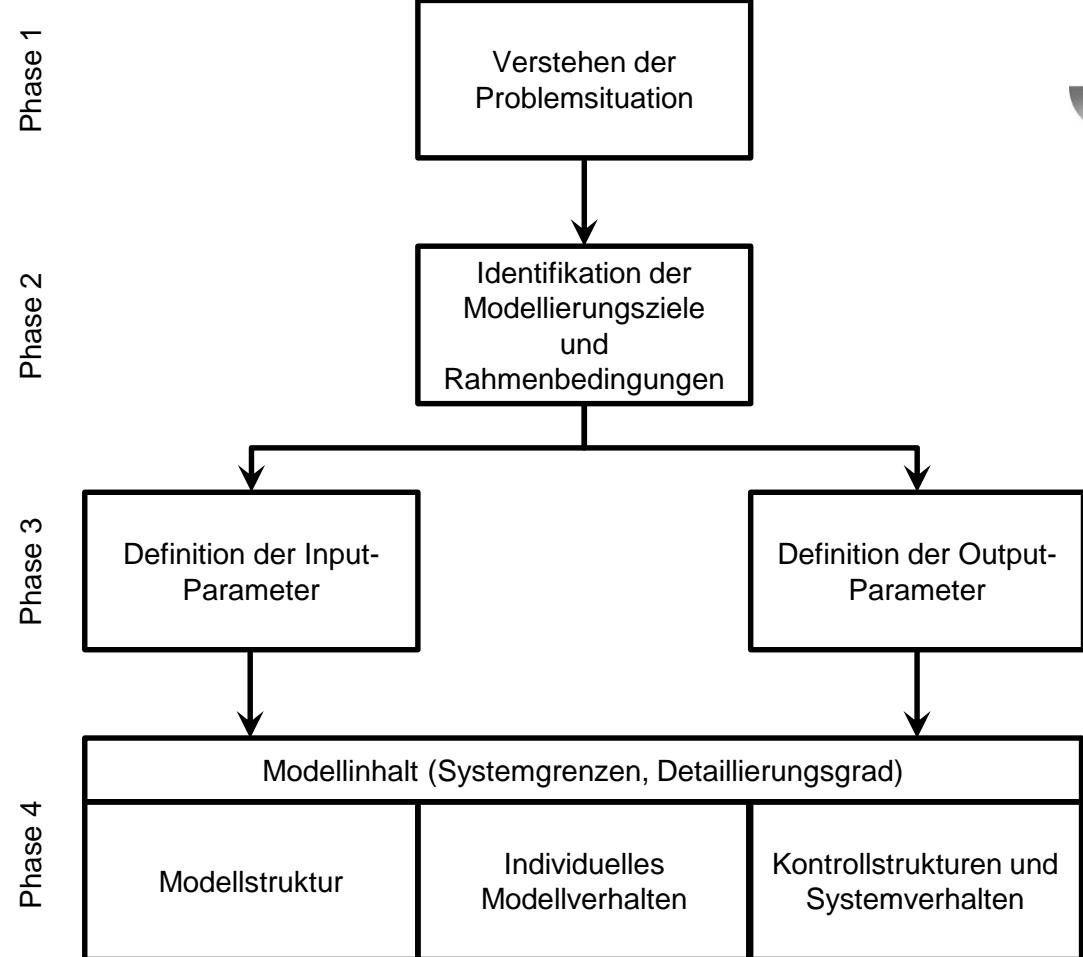


→ funktionale Systembeschreibung

Ganzheitlicher Modellierungsansatz

Beispiel-Vorgehensmodell: Hierarchical Control Conceptual Modelling

- Basis für Simulationsstudien
- HCCM: 4 Phasenmodell nach Furian et al. (2015)
- Definierte und strukturierte Vorgehensweise
- Eignet sich für konzeptuelle Modellierung in einer Vielzahl von Anwendungsfeldern



Source: Furian, N.; O'Sullivan, M.; Walker, C.; Vössner, S.; Neubacher, D. (2015): A conceptual modeling framework for discrete event simulation using hierarchical control structures. In: Simulation modelling practice and theory, Vol. 56, S. 82-96

Simulationsstudie Offshore Windpark

Hintergrund

- Teil einer Vorstudie



- Wirtschaftliche Abschätzung durch Simulation

Development & Consenting



Production & Acquisition



Installation & Commissioning



Operation & Maintenance



Decommissioning & Disposal



- Kooperationsprojekt zwischen TU Graz und Universität Strathclyde¹

¹ Detaillierte Daten und Modellbeschreibung siehe Veröffentlichung der Winter Simulation Conference:

Gutschi, C.; Furian, N.; Voessner, S.; Graefe, M.; Kolios, A. (2019): Evaluating the performance of maintenance strategies: a simulation-based approach for wind turbines.
In: 2019 Winter Simulation Conference (WSC). S. 842-853

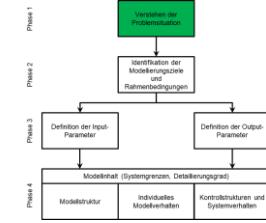
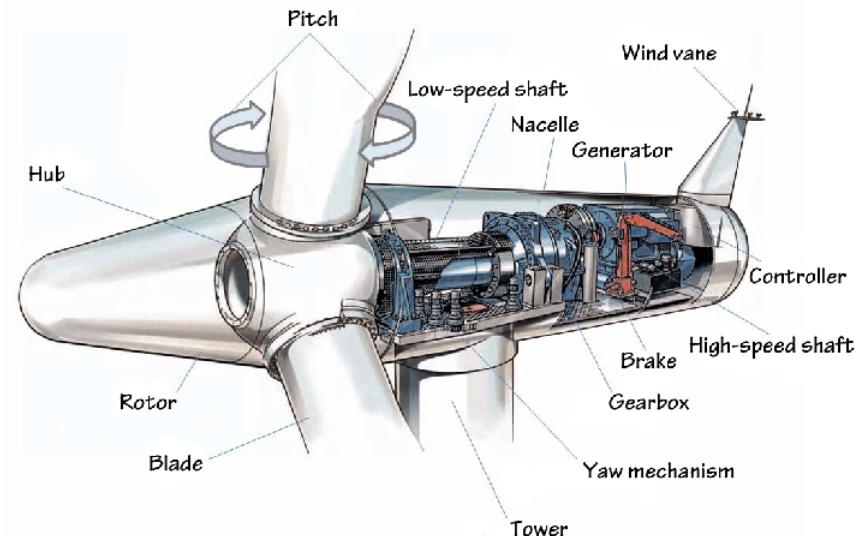
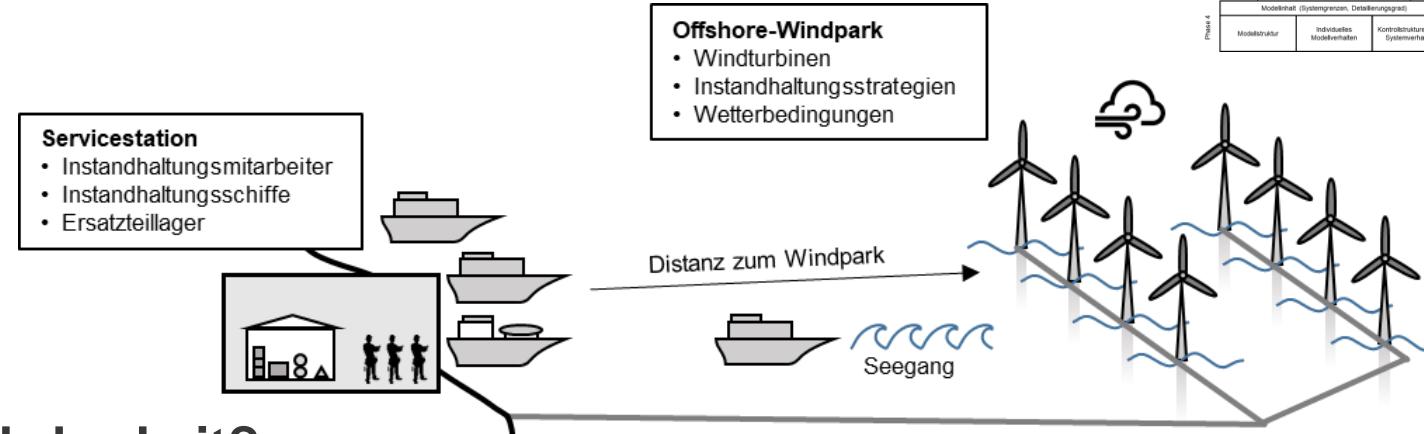
Simulationsstudie Offshore Windpark

Problemsituation

- Ökonomische Durchführbarkeit?
- Energieproduktion → max
- Stromgestehungskosten → min

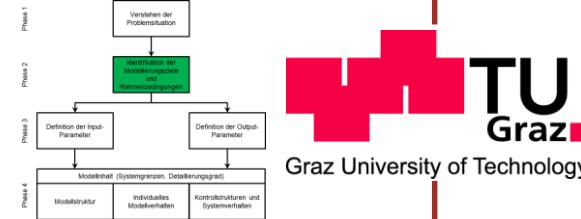
- Evaluierung der Auswirkungen unterschiedlicher Instandhaltungsstrategien pro Systemelement:
 - Reaktive Instandhaltung
 - Zustandsbasierte Instandhaltung

Source: https://www.bls.gov/green/wind_energy/



Simulationsstudie Offshore Windpark

Modellierungsziele und Rahmenbedingungen



■ Stromgestehungskosten [€/MWh]

- produzierte Energiemenge = f(Windgeschwindigkeit, Verfügbarkeit)
- Kosten, u.a. Instandhaltungskosten

■ Windturbine als Multikomponentensystem

- IH-Tätigkeiten: kleine, große Reparatur & Austausch
- Ausfallsverteilungen, Materialkosten
- IH-Ressourcen: Mitarbeiter, Schiffstypen, Dauer der IH, Kostensätze

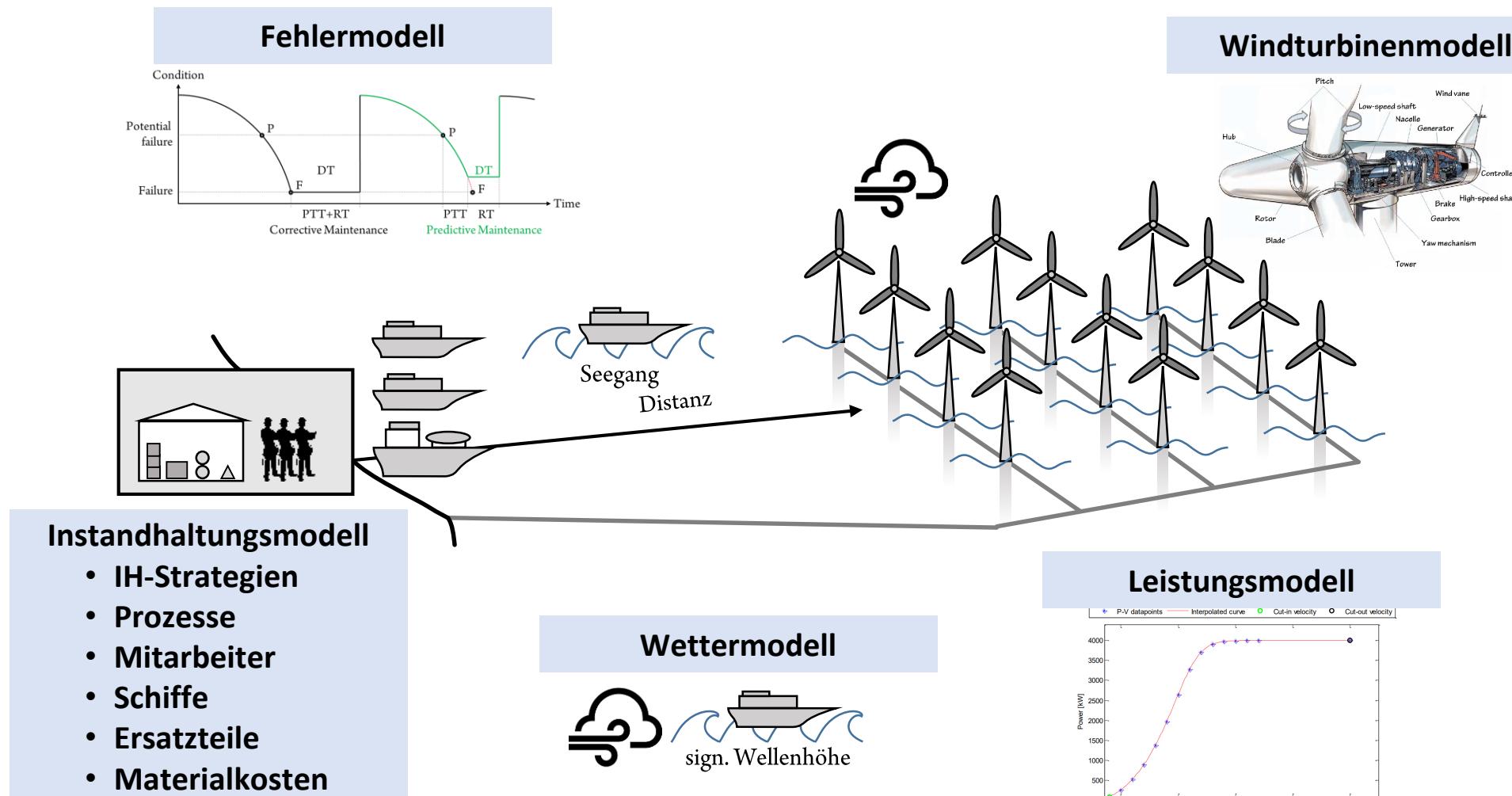
■ Reaktive vs. zustandsbasierter Instandhaltung

- Reaktiv: Stillstandszeit = Vorbereitungs- & Reisezeit + Dauer der IH
- Zustandsbasiert: Stillstandszeit = Dauer der IH

■ Sicherheit für Mitarbeiter und Schiffe

Simulationsstudie Offshore Windpark

Input: Welche Modelle werden benötigt?



Simulationsstudie Offshore Windpark

Output: Welche Indikatoren werden benötigt?

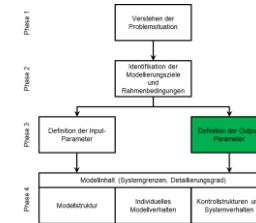
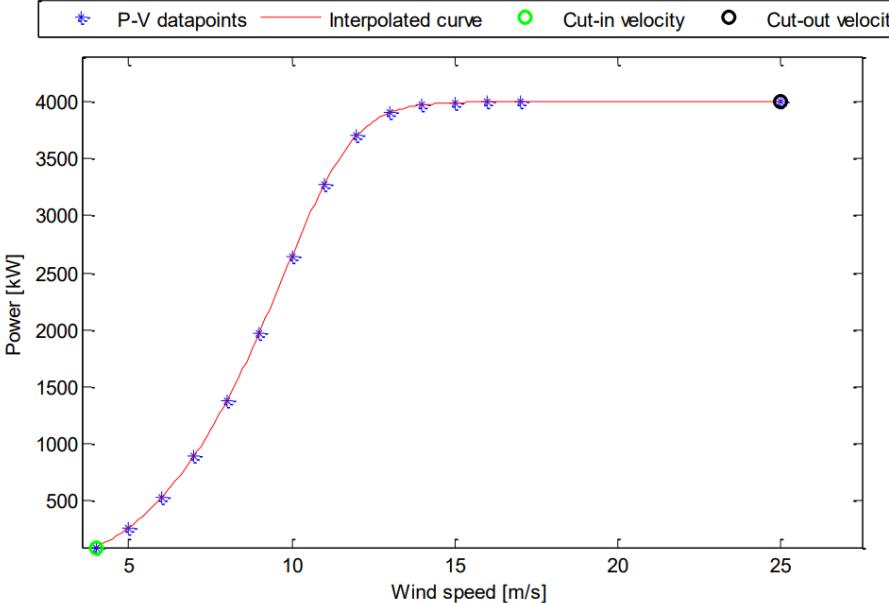
■ Produzierte Energie

- Turbinenverfügbarkeit $s(t)$
- Windgeschwindigkeit

■ Instandhaltungskosten

- IH-Aufträge (Subsystem & Fehlermodus)
 - Materialkosten
 - Mitarbeiter- & Schiffskosten
- Strategie: korrektiv oder zustandsbasiert
- Stillstandsdauer: Vorbereitungs- & Reisezeit, Dauer der IH

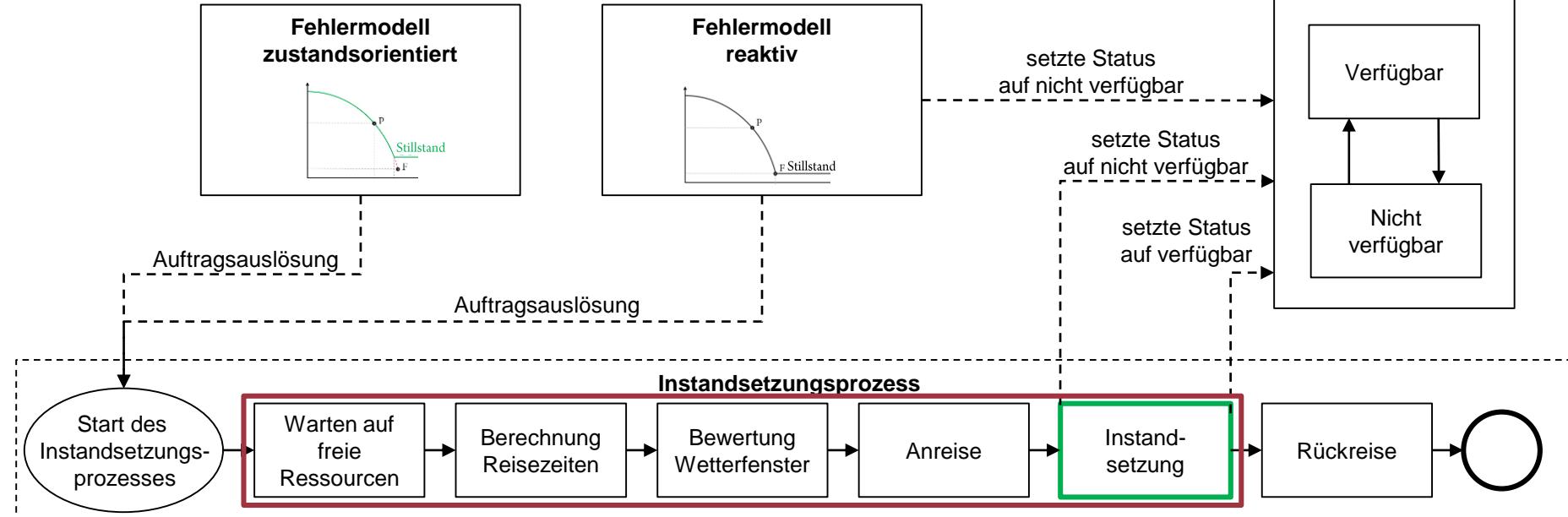
→ Stromgestehungskosten



Simulationsstudie Offshore Windpark

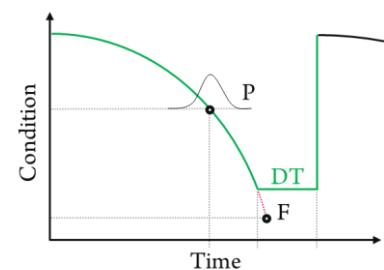
Modellinhalt

■ Instandsetzungsprozess



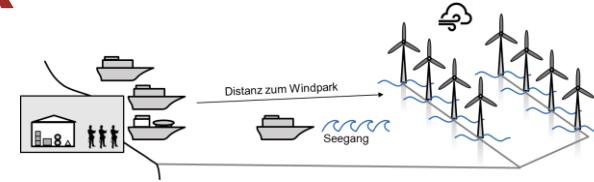
■ Fehlermodelle

	Failure Mode 1	Failure Mode 2	Failure Mode 3	\sum Subsystem i
Subsystem 1	$\lambda_{i=1,j=1}$...	$\lambda_{i=1,j=3}$	$\hat{\lambda}_i = \sum_{j=1}^3 \lambda_{i=1,j}$
:	:	..		
Subsystem n	$\lambda_{i=n,j=1}$		$\lambda_{i=n,j=3}$	$\hat{\lambda}_{total} = \sum_{i=1}^n \hat{\lambda}_i$



Simulationsstudie Offshore Windpark

Szenariendefinition

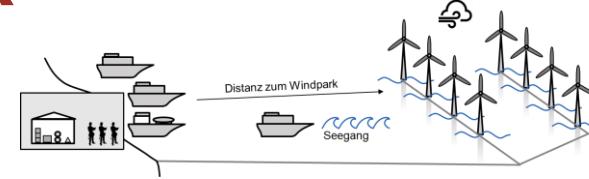


Szenario	Instandhaltungsstrategie		Erwartungswerte			
	TbM	korrektiv	zustandsbasiert	Aufträge	PE	LCoE
SI Baseline	X	alle Subsysteme alle Fehlermodi		↓	↓	↑
SII Prädiktiv	X		alle Subsysteme alle Fehlermodi	↑	↑	↓
SIII RCM	X	alle Subsysteme alle Fehlermodi außer PdM	Subsysteme: - Generator - Getriebe Fehlermodi: - Große Reparatur	?	?	?

Source: Andrawus, J. A., J. Watson, M. Kishk, and A. Adam. 2006. "The Selection of a Suitable Maintenance Strategy for Wind Turbines". Wind Engineering 30(6):471–486.

Simulationsstudie Offshore Windpark

Modellinput Evaluationsmodell 1/3

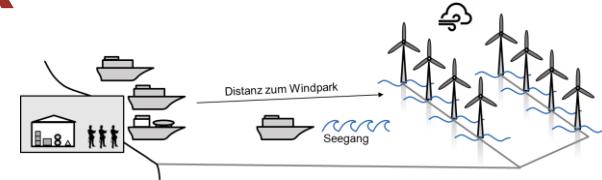


- 100 Windturbinen (5 MW, 5m/s – 25 m/s)
- WT: 19 Subsysteme á 3 Fehlermodi
- 20 Jahre Betriebsdauer
- 75 km Distanz zur Servicestation
- 80 Instandhaltungsmitarbeiter (250€/h)
- 15 Mitarbeitertransportschiffe (Kapazität 12MA, Reisezeit 2h, 1350€/h)
- 1 Errichterschiff (Reisezeit 3h, 4700€/h)
- 1 Tauchsenschiff (Reisezeit 2h, 2500€/h)
- Jede IH am Fundament → 1 Tauchsenschiff
- Austausch des Transformatoren → Errichterschiff
- Alle indirekten Kosten sind enthalten (Miete, Versicherung,...)
- Stromtransportkosten sind nicht enthalten

Source: Andrawus, J. A., J. Watson, M. Kishk, and A. Adam. 2006. "The Selection of a Suitable Maintenance Strategy for Wind Turbines". Wind Engineering 30(6):471–486.

Simulationsstudie Offshore Windpark

Modellinput Evaluationsmodell 1/3



- Fehlerrate [1/Jahr], Reparaturdauer [h], benötigte MA & MK, Ausfallsschwere

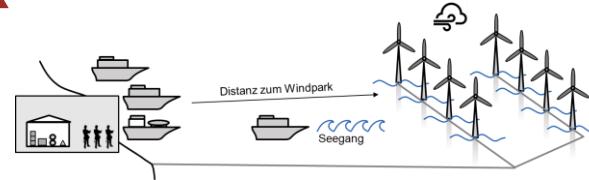
Subsystem i	Minor repair				Major repair				Major replacement			
	$\lambda_{i,1}$	RT	RS	I	$\lambda_{i,2}$	RT	RS	I	$\lambda_{i,3}$	RT	RS	I
Pitch	0.82	9	2.3	7.4	0.18	19	2.9	3.4	0.001	25	4	0.0
Other Components	0.81	5	2	4.1	0.04	21	3.2	0.9	0.001	36	5	0.0
Generator	0.49	7	2.2	3.4	0.32	24	2.7	7.7	0.095	81	7.9	7.7
Gearbox	0.40	8	2.2	3.2	0.04	22	3.2	0.8	0.154	231	17.2	35.6
Blades	0.46	9	2.1	4.1	0.01	21	3.3	0.2	0.001	288	21	0.3
Grease/oil/cooling liq.	0.41	4	2	1.6	0.01	18	3.2	0.1	0	0	0	0
Electrical components	0.36	5	2.2	1.8	0.02	14	2.9	0.2	0.002	18	3.5	0.0
Contactor/circuit	0.33	4	2.2	1.3	0.05	19	3	1.0	0.002	150	8.3	0.3
Controls	0.36	8	2.2	2.8	0.05	14	3.1	0.8	0.001	12	2	0.0
Safety	0.37	2	1.8	0.7	0.00	7	3.3	0.0	0	0	0	0
Sensors	0.25	8	2.3	2.0	0.07	6	2.2	0.4	0	0	0	0
Pumps/motors	0.28	4	1.9	1.1	0.04	10	2.5	0.4	0	0	0	0
Hub	0.18	10	2.3	1.8	0.04	40	4.2	1.5	0.001	298	10	0.3
Heaters/coolers	0.19	5	2.3	1.0	0.01	14	3	0.1	0	0	0	0
Yaw system	0.16	5	2.2	0.8	0.01	20	2.6	0.1	0.001	49	5	0.0
Tower/foundation	0.09	5	2.6	0.5	0.09	2	1.4	0.2	0	0	0	0
Power supply	0.08	7	2.2	0.5	0.08	14	2.3	1.1	0.005	57	5.9	0.3
Service items	0.11	7	2.2	0.8	0.00	0	0	0.0	0	0	0	0
Transformer	0.05	7	2.5	0.4	0.00	26	3.4	0.1	0.001	1	1	0.0

Sources: Carroll, J., A. McDonald, and D. McMillan. 2016. "Failure Rate, Repair Time and Unscheduled O&M Cost Analysis of Offshore Wind Turbines". Wind Energy 19(6):1107–1119.
Andrawus, J. A., J. Watson, M. Kishk, and A. Adam. 2006. "The Selection of a Suitable Maintenance Strategy for Wind Turbines". Wind Engineering 30(6):471–486.

Simulationsstudie Offshore Windpark

Modellinput Evaluationsmodell 3/3

- Auftragspriorisierung: Schwere und FIFO
- 2 Jahre Einlaufphase der Simulation
- 100 Replikationen pro Szenario



- Diskontierung ($t=0$) aller Kosten und produzierter Energie für die LCoE-Berechnung
- WACC = 6.15%

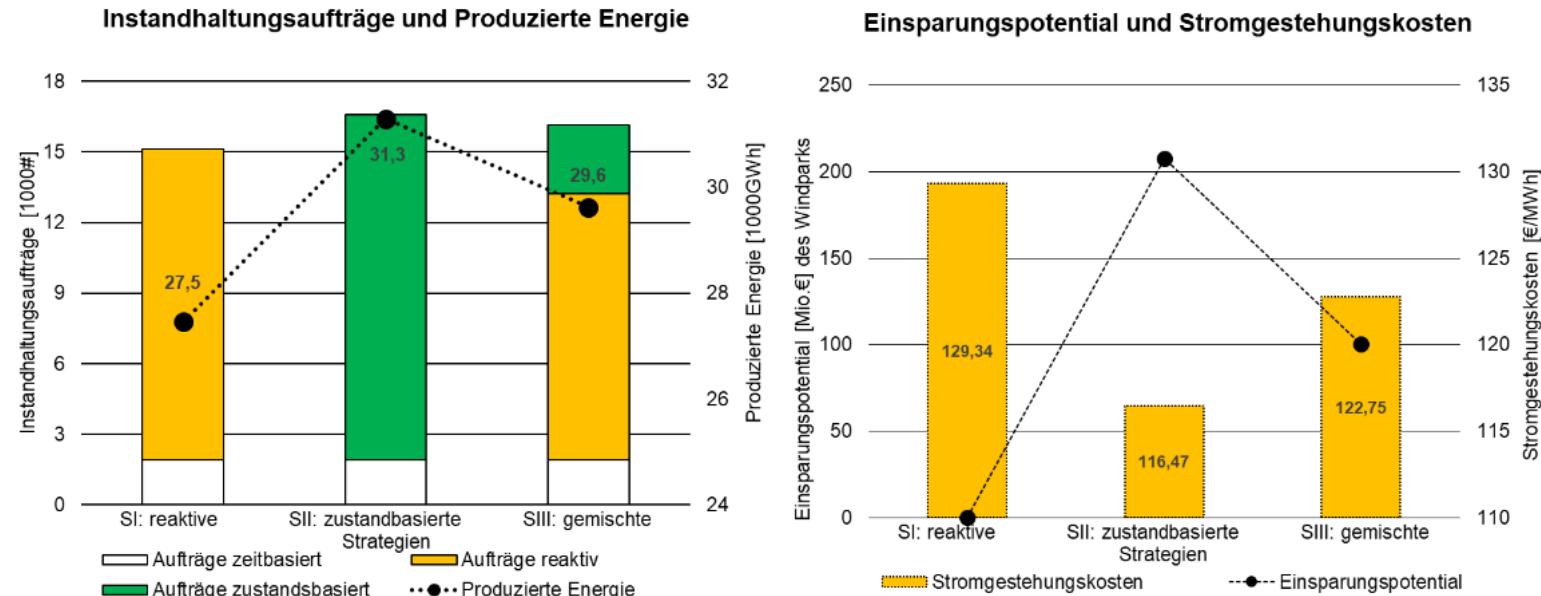
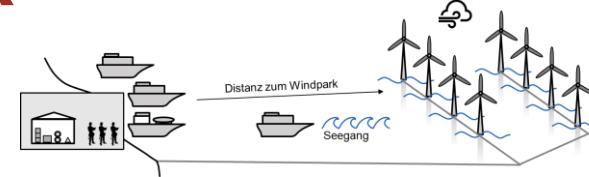
Source: Graefe, M. 2019. "Development of a Life Cycle Cost and Impact Assessment Tool for Floating Wind Turbines". Master's thesis, Graz University of Technology, Graz, Austria.

Simulationsstudie Offshore Windpark

Simulationsergebnis

■ Einsparungspotential

- ~200 Mio. € in einem optimistischen Szenario
- ~100 Mio. € in einem realistischen Mix an IH-Strategien



- zusätzliche Einsparungen durch verbesserte IH-Planung oder Auftragsbündelung

Zusammenfassung

Ganzheitliche Modellierung als Decision Support Tool

- Decision Support bei strategischen Entscheidungen (quantifizierbar)
- Abbilden von gesamten Systemen
- modellbasierte Evaluierung frühzeitig einsetzen
- Risikominimierung
- Wiederverwendbarkeit

Ganzheitlicher Modellierungsansatz zur simulationsbasierten Strategieauswahl in der Instandhaltung

Benchmarking operativer Instandhaltungsstrategien unter Berücksichtigung soziotechnischer Aspekte und Internet der Dinge am Beispiel eines Offshore-Windparks.



Dipl. Ing. Clemens Gutschi
Institut für Maschinenbau- und Betriebsinformatik
clemens.gutschi@tugraz.at
+43 316 873 8007

