

13.06.2018



# Projekt BestOff

Über den Zusammenhang von HSE-Koordination und  
Wirtschaftlichkeit eines Offshore Windparks –  
Simulationsbasierte Evaluierung der Betriebsphase

Dr.-Ing. Thorsten Albers  
Ingenieurgesellschaft von Lieberman, Hamburg

# Inhalt

- BestOff-Teilvorhaben von Lieberman GmbH
- Methodik & Ergebnisse
- Modellentwicklung
- Prozesssimulation
- Ergebnisse der Simulation
- Praxisbezug der Ergebnisse





## BestOff-Teilvorhaben der von Lieberman GmbH

- Umfassende Erhebung und Beschreibung des Status Quo von HSE

Koordination im Bereich Offshore Wind

- Ableitung von Maßnahmen zur Optimierung der Koordination
- Umfassende Erhebung und Beschreibung der Lernkultur im Bereich HSE

Offshore

- Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Lernkultur

## Methodik

- Entwicklung teilstrukturierter Fragebögen
- Durchführung und Auswertung qualitativer Interviews

## Ergebnisse

- Optimierung der Koordination durch informationsbasierte Entscheidungshilfesysteme
- Vorhandene Lernkultur unterstützt die Einführung solcher Systeme

# Modellentwicklung

- Entwicklung einer digitalen Applikation
- Teilaspekt: Einfluss äußerer Randbedingungen (z.B. Seegang) auf die Koordinationsaufgabe
  - Simulation verschiedener Szenarien



## Modellentwicklung

### Arbeitssicherheit

Gesundheitsrisiken  
infolge von  
Umweltbedingungen

### Wirtschaftlichkeit des Windparks

- Verfügbarkeit
- Mittl. Zeit zur Reparatur

**Modell  
Simulation**

# Prozess-Simulation

Software AnyLogic, Monte-Carlo-Simulation

**Zustand der  
Turbine**

**Ressourcen  
Pers./Fahrzeuge**

**Meteorologische  
Daten**

**Ozeanografische  
Daten**

**Erreichbarkeit**

**O&M  
Arbeitsprozesse**

# Prozess-Simulation

## Software AnyLogic, Monte-Carlo-Simulation

### Kontrollierbare Parameter

Eigenschaften der Offshore Windparks

- Anzahl der Anlagen
- Distanz zum Festland

M&O Strategie

- Wahl des Transportmittels  
(vessel/helicopter, Anzahl, Geschw.,  
Überstieg, Ausrüstung, Plätze)

- Techniker (Schichtplan)

Planmäßige Wartung

Sicherheitsstandards

### Unkontrollierbare externe Parameter

Umweltbedingungen

- Windgeschw. & -richtung
- Wellenhöhe & -richtung
- Cloudiness/visibility

Korrektive Wartung/Reparatur (wind  
turbine failure rate)

Monte Carlo  
Simulation

Stochastische  
Daten

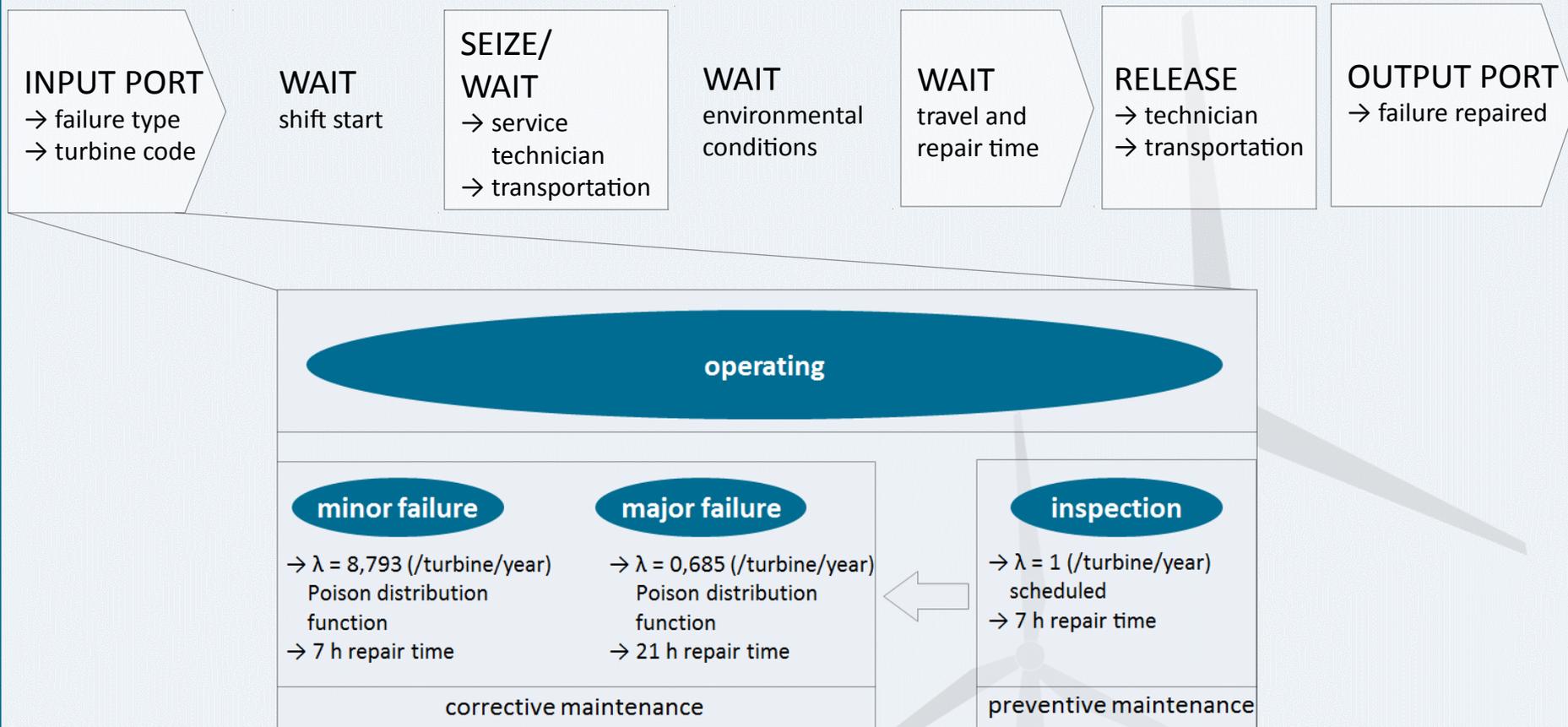
Sensitivitätsanalyse

### Outputs

Verfügbarkeit  
Erreichbarkeit  
Mittl. Zeit zur Reparatur

# Prozess-Simulation

## Discrete Event System Specification (DEVS)



## Discrete Event System Specification (DEVS)

Betrieb

### kleiner Fehler

- $\lambda = 8,793$  (/Turbine/Jahr)  
Poisson Verteilungsfunktion
- benötigte Ressourcen:  
CTV oder Helikopter
- 3 Service Techniker
- 7 h Reparaturzeit

fehlerbehebende Instandhaltung

### großer Fehler

- $\lambda = 0,685$  (/Turbine/Jahr)  
Poisson Verteilungsfunktion
- benötigte Ressourcen:  
HLV
- 5 Service Techniker
- 21 h Reparaturzeit



- 20%  
Wahrscheinlichkeit  
kleiner Fehler
- 2%  
Wahrscheinlichkeit  
großer Fehler

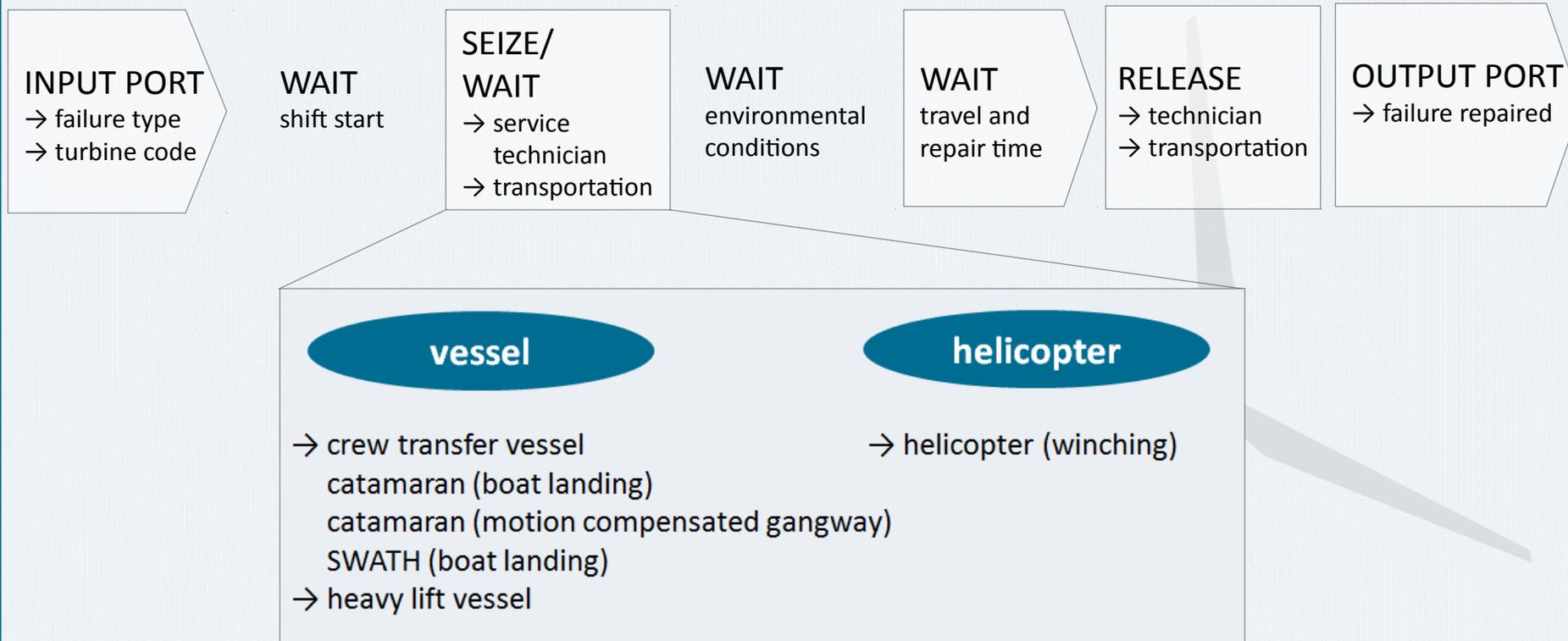
### Inspektion

- $\lambda = 1$  (/Turbine/Jahr)  
planmäßig
- benötigte Ressourcen:  
CTV oder Helikopter
- 3 Service Techniker
- 7 h Reparaturzeit

präventive Instandhaltung

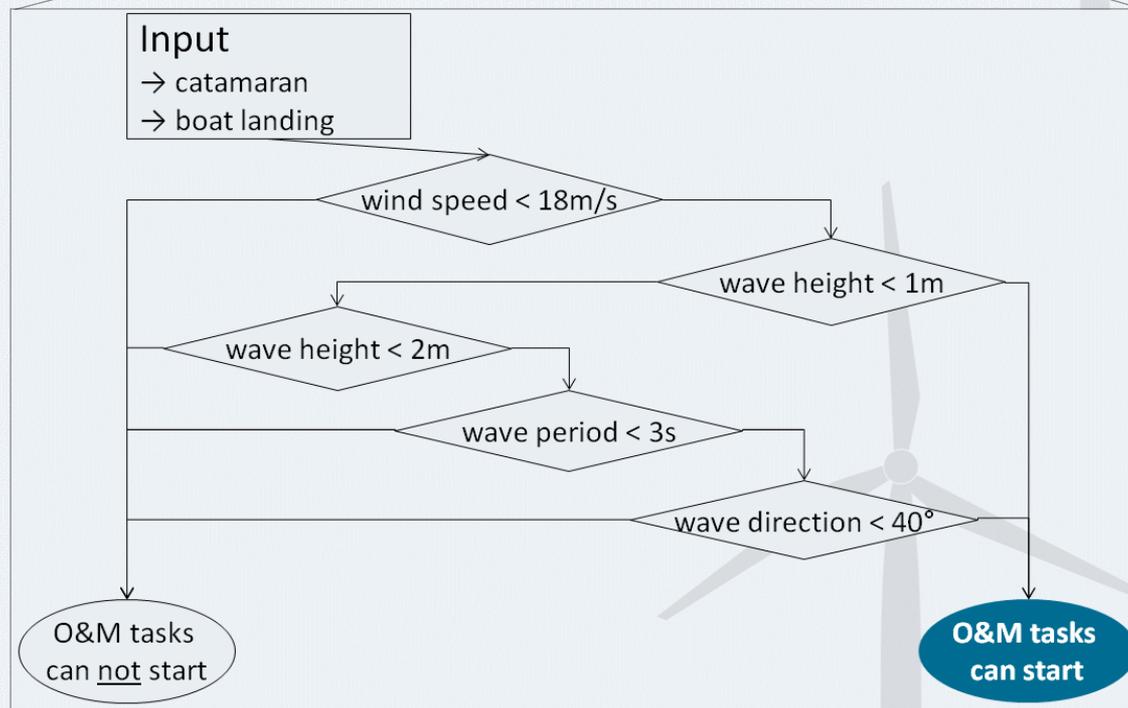
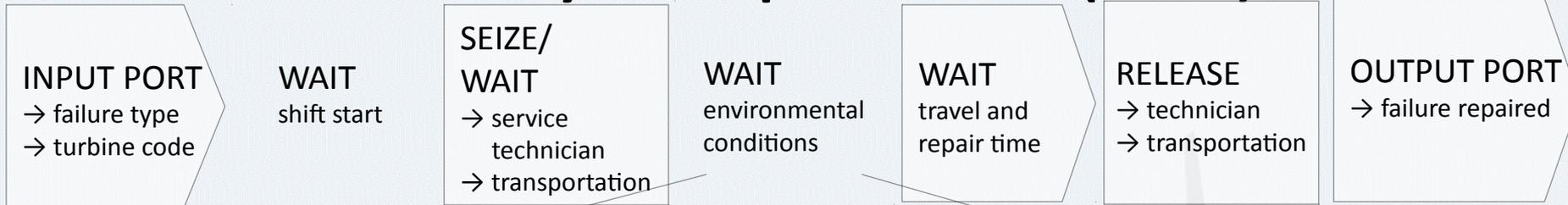
# Prozess-Simulation

## Discrete Event System Specification (DEVS)

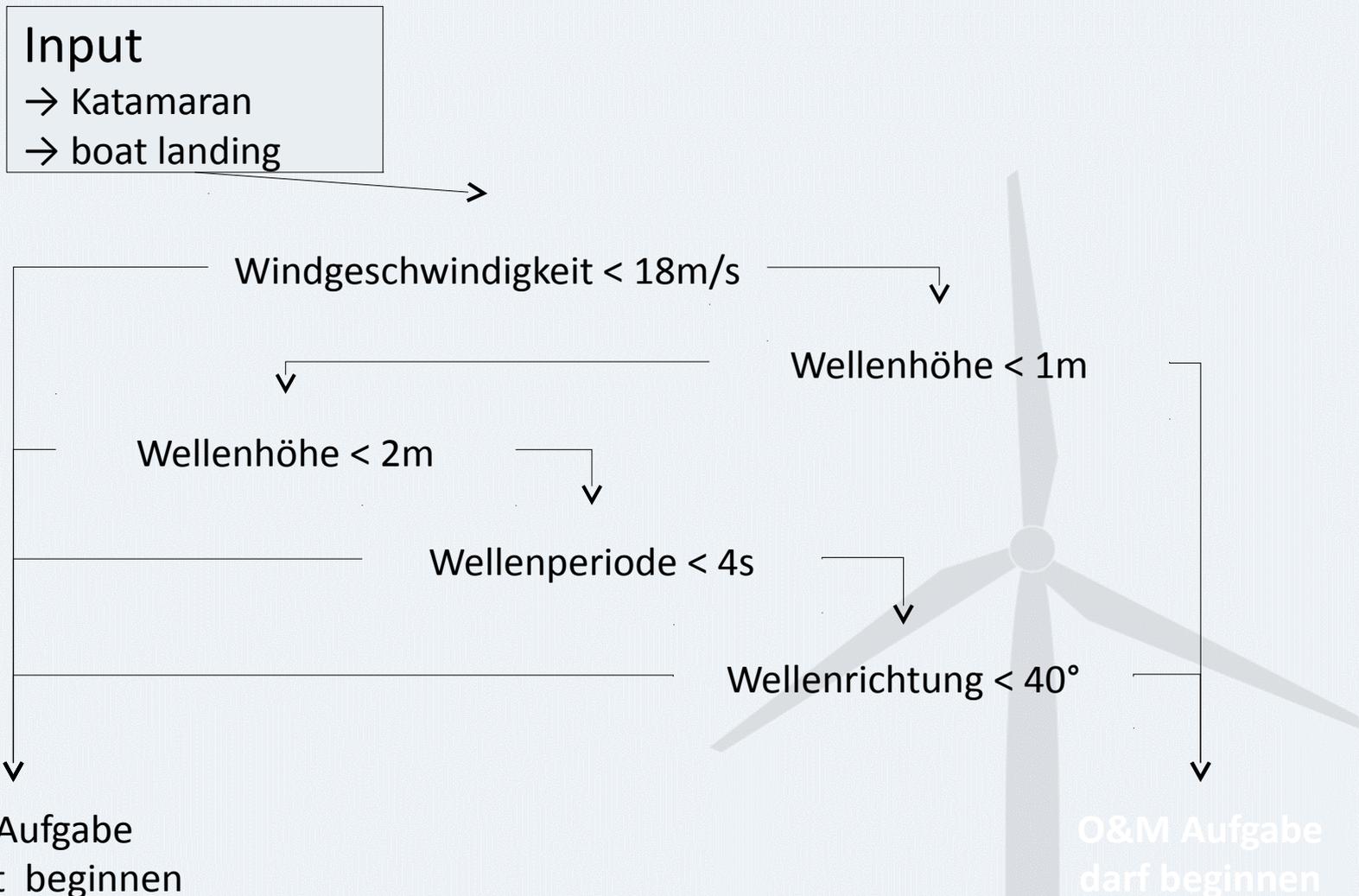


# Prozess-Simulation

## Discrete Event System Specification (DEVS)



# Prozess-Simulation

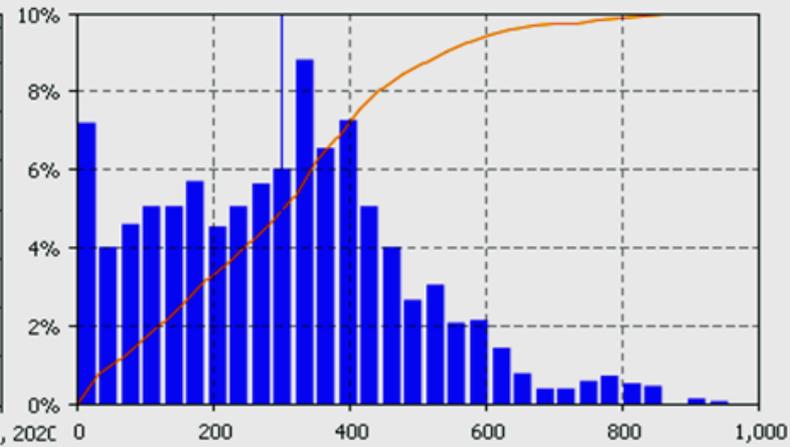
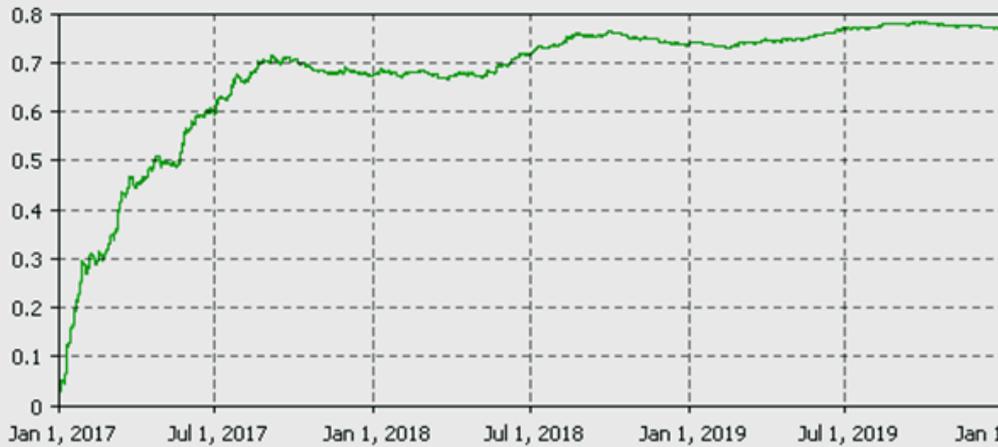


# Prozess-Simulation

## Discrete Event System Specification (DEVS)



# Prozess-Simulation



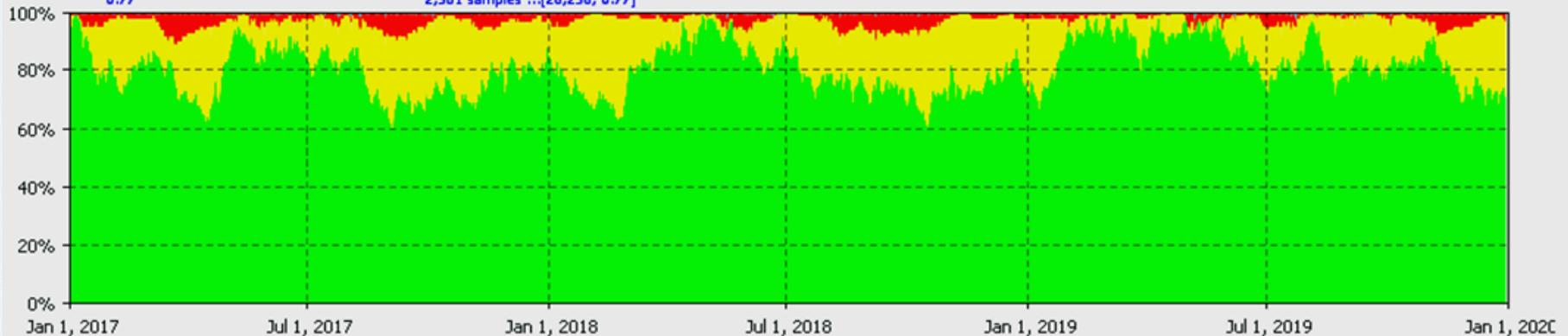
— availability

V TotalTimeTurbineOperating  
 1,617,682.676  
 V availability\_time  
 0.77

D availabilityDS  
 2,581 samples ...[26,256, 0.77]

▲ MTTR

D MTTR\_HD  
 1,542 samples [0...933.643]. Mean=300.896



■ Operating

■ PreventiveMaintenance

■ MinorFailure

■ MinorFailureRepairing

■ MajorFailure

■ MajorFailureRepairing

■ PreventiveMaintenanceRepairing

# Ergebnisse der Simulation

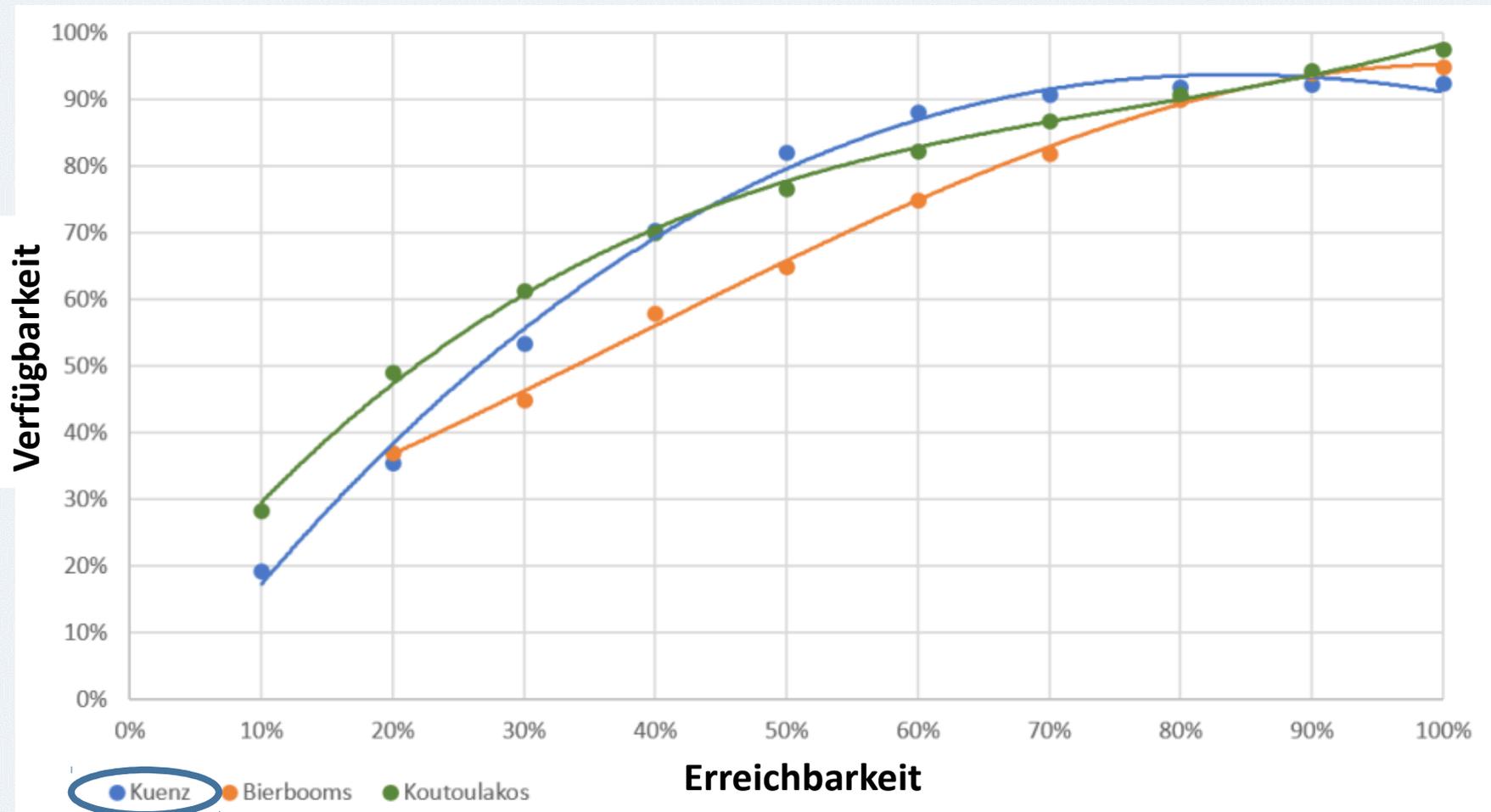


Reduzierung  
von riskanten  
Manövern  
Unterstützung  
in Zweifelsfällen

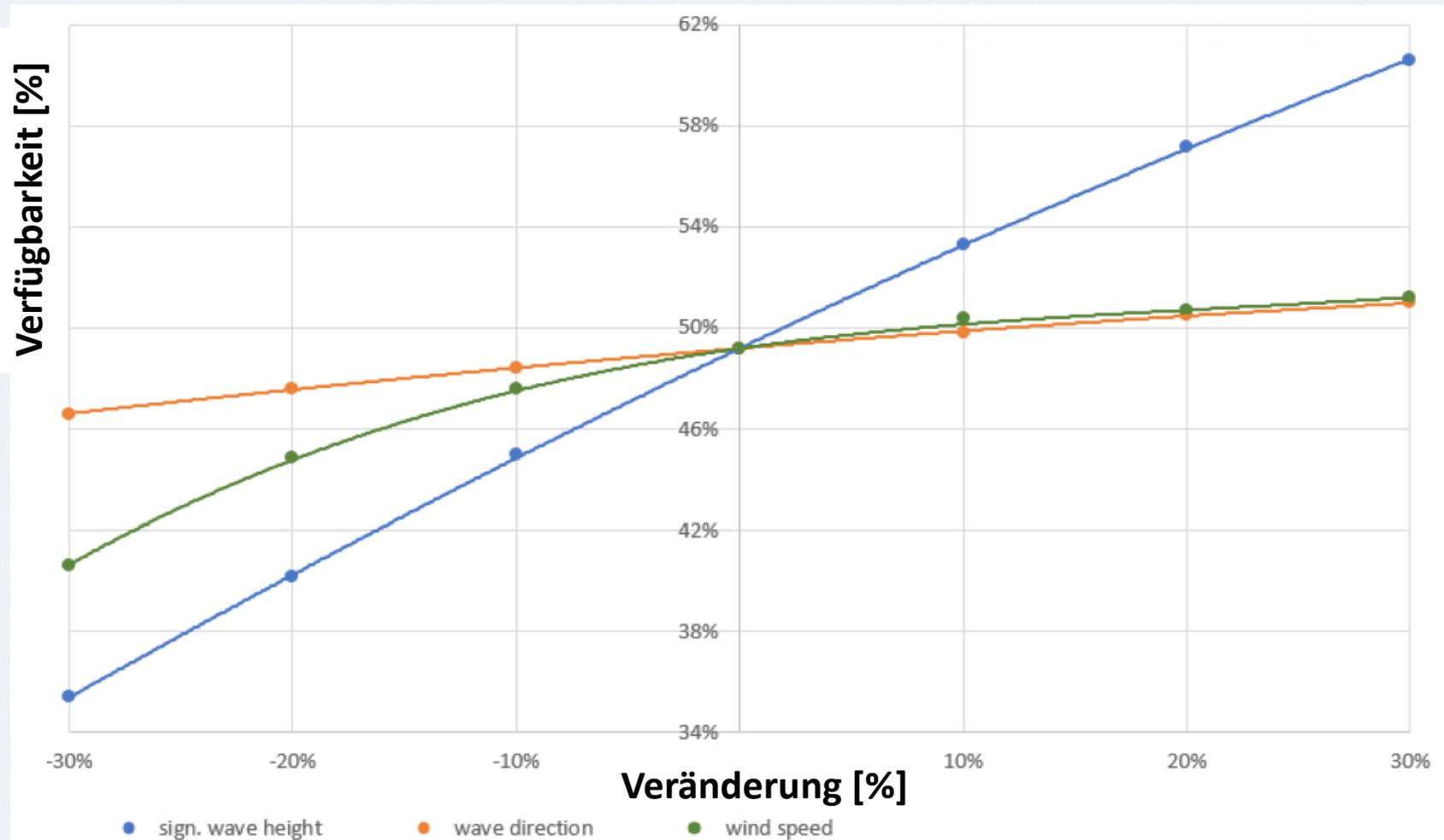
Evaluation  
Zugangslimits  
Optimierung  
der Ressourcen

Modell  
Evaluation  
Input für  
*weitere  
Arbeiten*

# Einfluss der Erreichbarkeit auf die Verfügbarkeit



# Sensitivitätsanalyse



## Key Facts

- **Erreichbarkeit ist stark vom Zugangssystem abhängig**
- **Signifikante Wellenhöhe hat den größten Einfluss auf die Verfügbarkeit der Anlage**
- **Erreichbarkeit oberhalb von 75 % hat nur geringen Einfluss auf die Verfügbarkeit der Anlage**



# Prozess zur Evaluation von Zugangslimits



## 1) Auswahl einer O&M Strategie

### 5) Evaluation der Resultate:

ist die Erreichbarkeit höher als notwendig:

→ Zugangsrestriktionen verschärfen  
(Sensitivitätsanalyse)

ist die Erreichbarkeit geringer als notwendig:

→ Transporttyp variieren  
→ Variante des Zugangs verändern

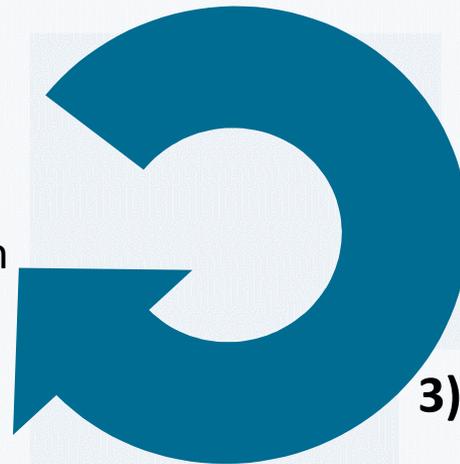
## 2) Annahme geeigneter Transportmittel und Zugangssysteme

## 3) Festlegung von Zugangsrestriktionen

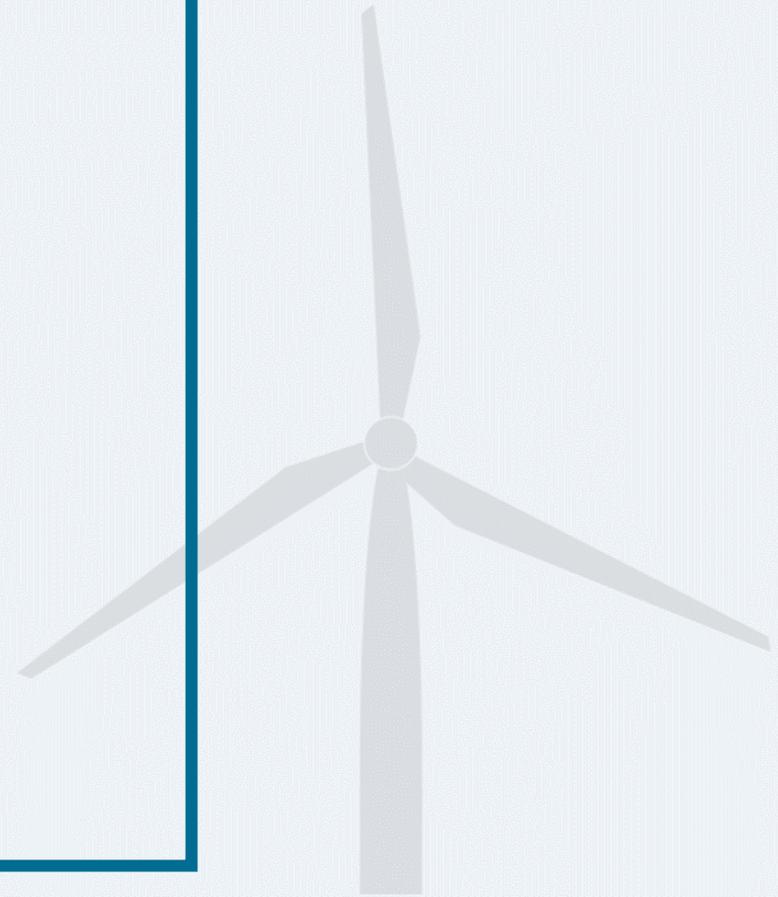
→ Entscheidungsbäume generieren  
die Erreichbarkeit der Anlage

## 4) Berechnung der Erreichbarkeit

→ sollte zwischen 75% und 85%  
liegen



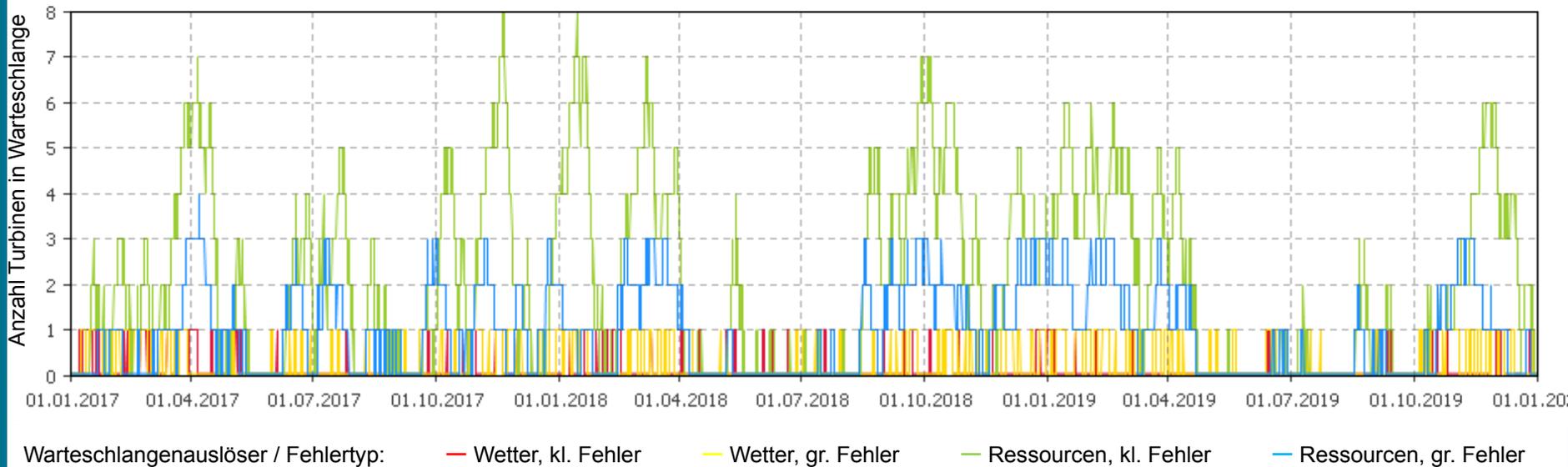
# Ergebnisse der Simulation



# Optimierung der Ressourcen – Umgang mit Ressourcenengpässen



## Warteschlangengrößen im Zeitverlauf einer Simulation



→ Ressourcenknappheit verursacht oft große Engpässe

# Optimierung der Ressourcen – Umgang mit Ressourcenengpässen



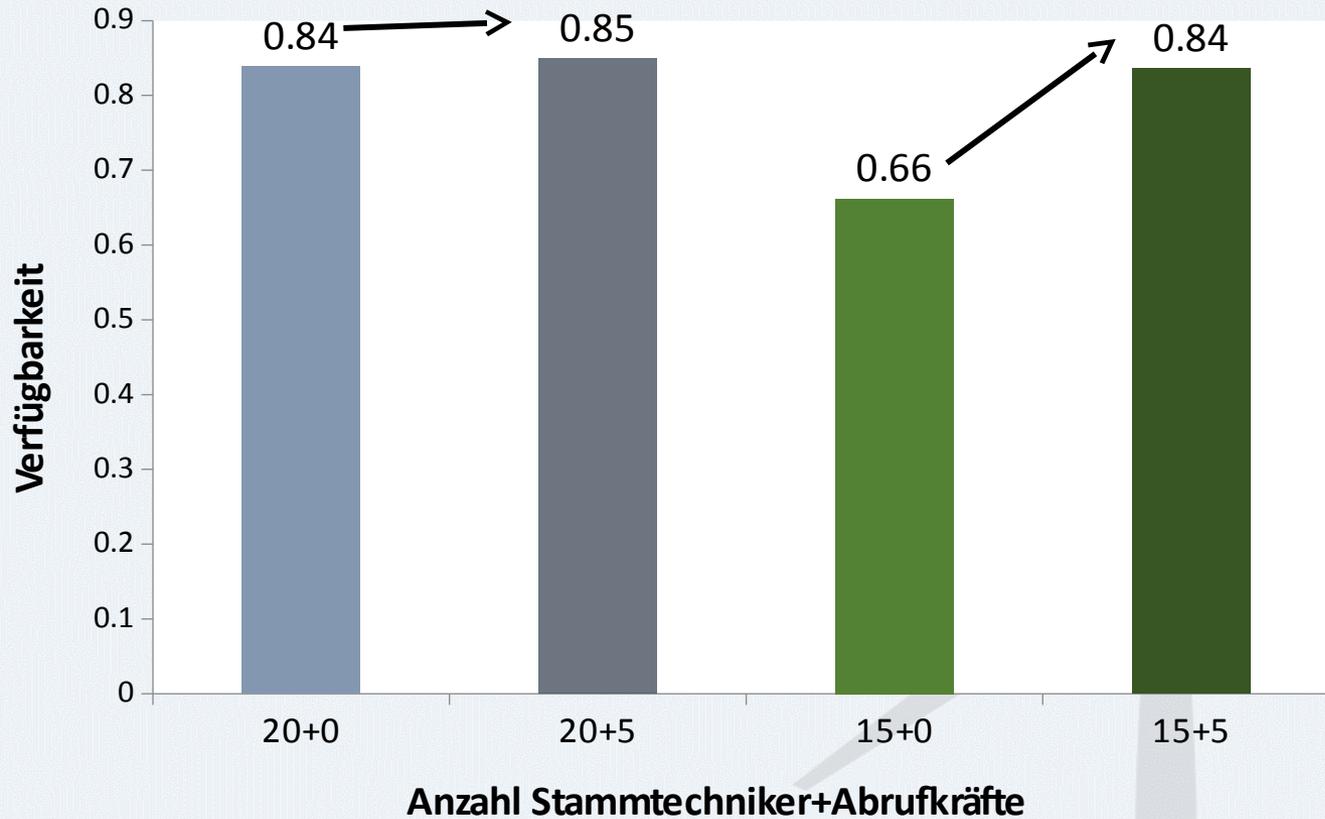
## Fragestellung:

Ist es bei Auftreten von Engpässen sinnvoll, kurzfristig und temporär das Personal aufzustocken?

## → Untersuchung mittels Modellerweiterung:

- Implementierung eines Teams von 5 Service-Technikern als Abrufkräfte
- Tägliche abendliche Bedarfsprüfung → Abruf am nächsten Tag, falls Prüfung positiv

# Optimierung der Ressourcen – Umgang mit Ressourcenengpässen



# Optimierung der Ressourcen – Umgang mit Ressourcenengpässen

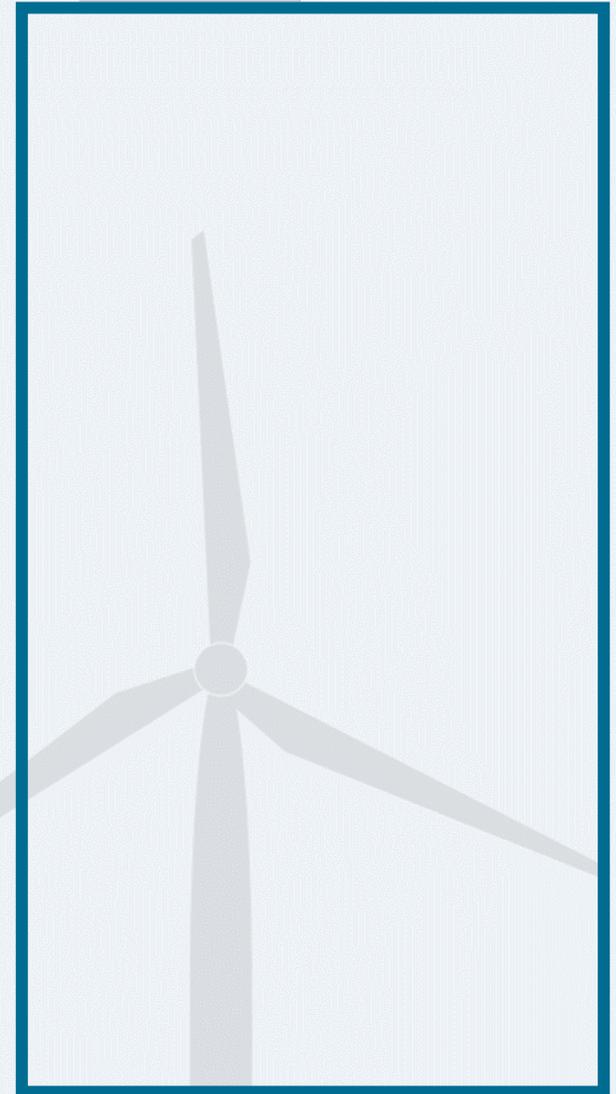


- Bei 20 Stammkräften nur geringe Verbesserung durch Abrufkräfte, jedoch bei nur  $\emptyset 19$  Einsatztagen im Jahr
  - Bei Reduktion auf 15 Stammkräfte starke Verbesserung durch Abrufkräfte bei  $\emptyset 115$  Einsatztagen im Jahr
- Bereits hohe Verfügbarkeit nur mit großem Aufwand weiter steigerbar
- Flexible Deckung von Personalbedarfsspitzen durch Abrufkräfte potentiell vorteilhaft

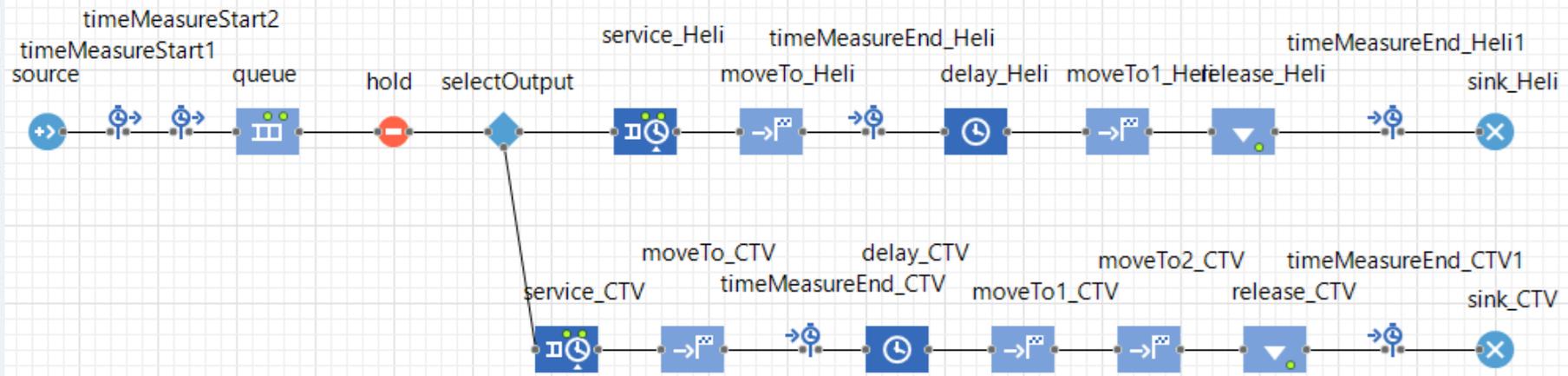
# Wissenstransfer



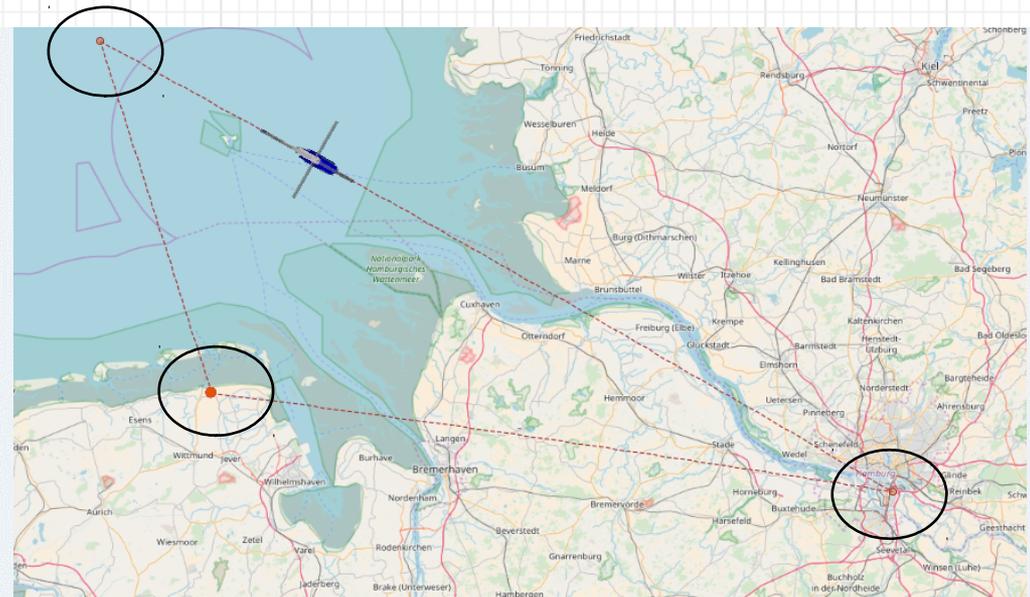
BESTOFF



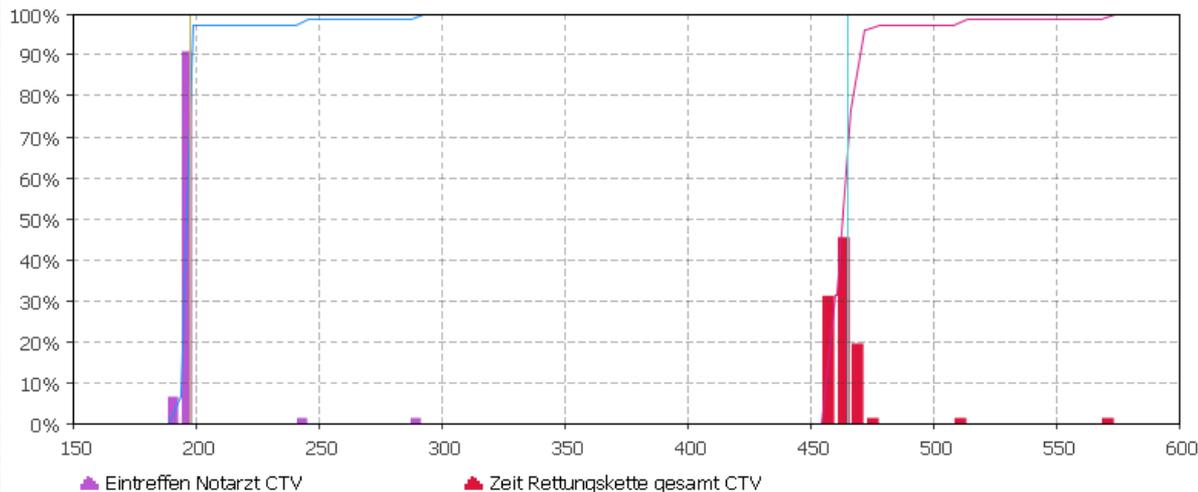
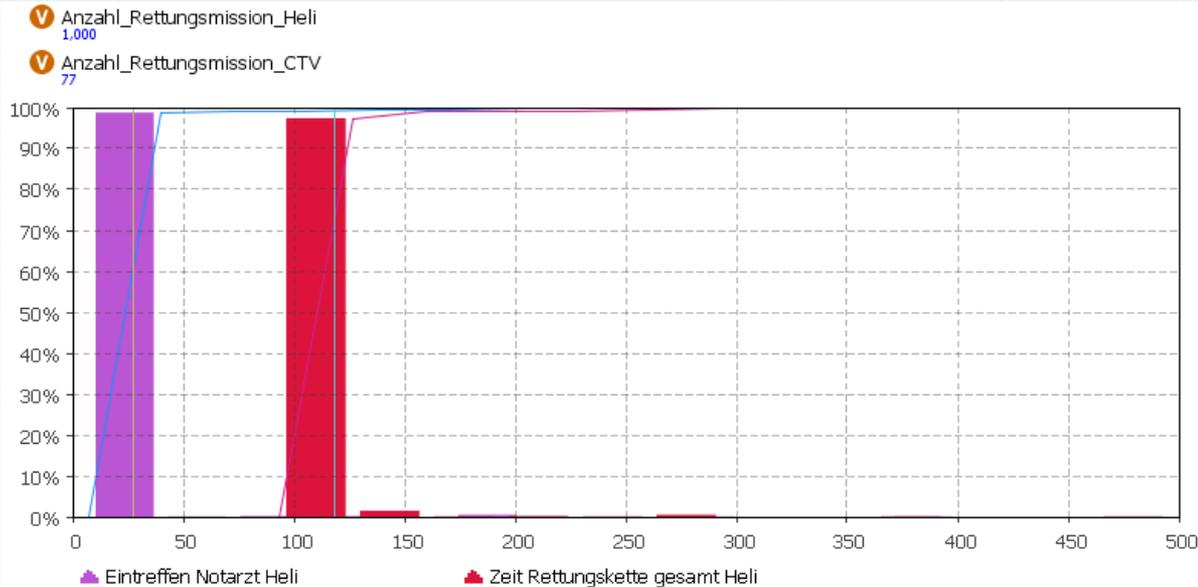
# Simulation der Offshore Rettungskette



→ Im Modell: Ersetzen des Auftretens eines Fehlers durch Einleiten der Rettungskette.



# Simulation der Offshore Rettungskette



- Dauer der Rettungskette bei ca. 98% aller simulierten Fälle zwischen 95 und 120 Minuten
- Im Mittel bei ca. 112 Minuten

## Zusammenfassung

- Die Prozesssimulation erlaubt eine
  - Reduzierung von riskanten Manövern
  - Unterstützung in Zweifelsfällen
  - Evaluation Zugangslimits
  - Optimierung der Ressourcenauf Basis einer Abschätzung der Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit eines Windparks.
- Modellevaluierung und -optimierung wichtig (Eingangsdaten).



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Eine Initiative des Bundesministeriums  
für Bildung und Forschung

Wissenschaftsjahr | 2018

ARBEITSWELTEN  
DER ZUKUNFT

