

---

# Zustandsorientierte Wartung an Stromerzeugungsanlagen

“Condition Monitoring” und “Predictive Maintenance”

---



ASUE

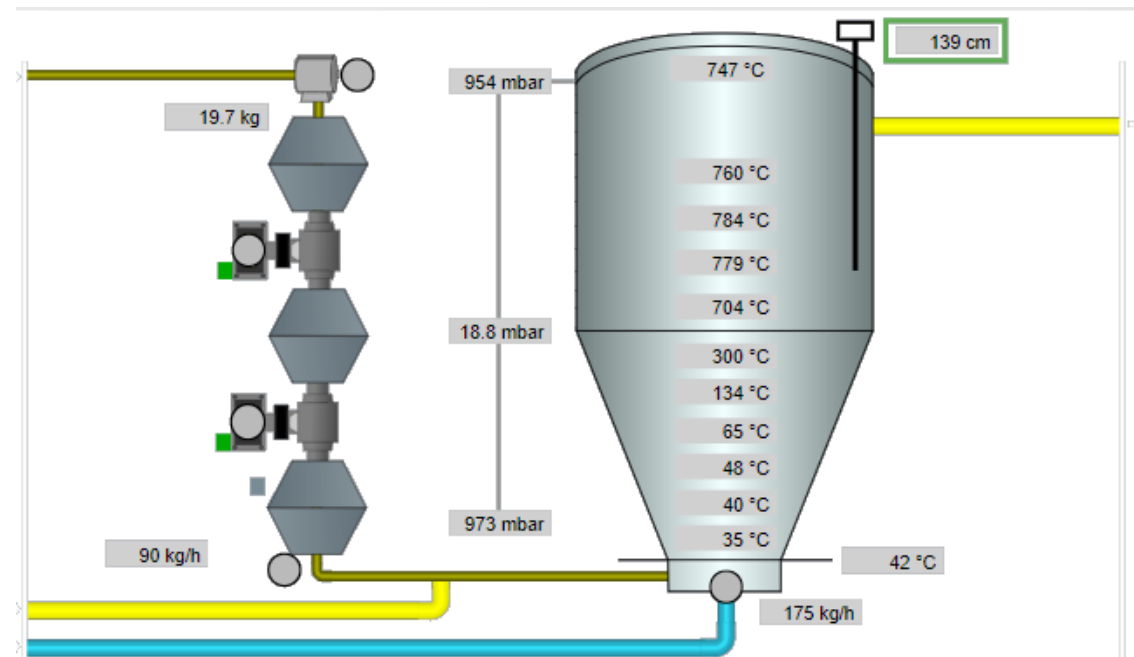
Expertenkreis Gasturbinentechnik

30.09.2020

**Dr. Benjamin Adrian, Dr. Andreas Wirsén**  
Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik  
Systemanalyse, Prognose und Regelung



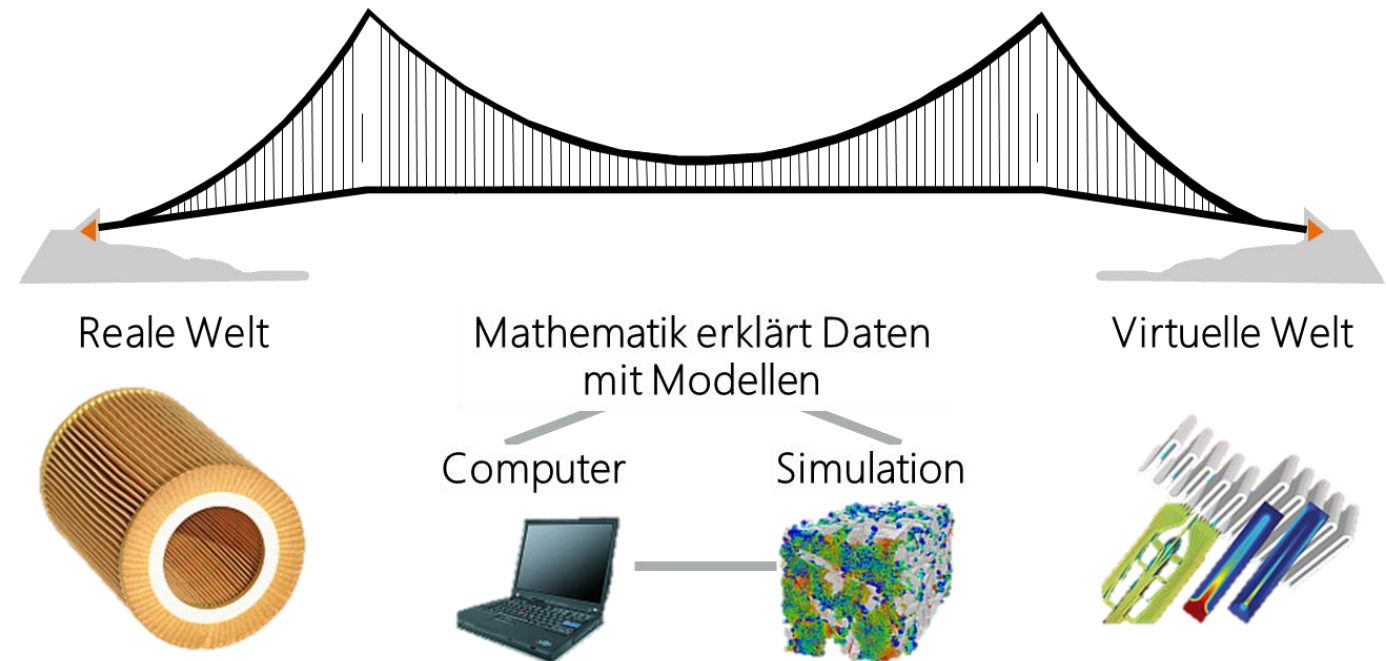
Wenn Sie ANLAGEN  
mit DATEN  
erklären wollen ...



\* Skizzierter Holzgasreaktor der Burkhardt GmbH

# Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik

... dann ist  
MATHEMATIK die  
Brückentechnologie



Was ist der  
aktuelle  
Systemzustand?

Ist der  
Systemzustand  
gut oder  
schlecht?



\* Holzgasreaktor der Burkhardt GmbH

Wodurch  
verändert sich der  
Systemzustand?

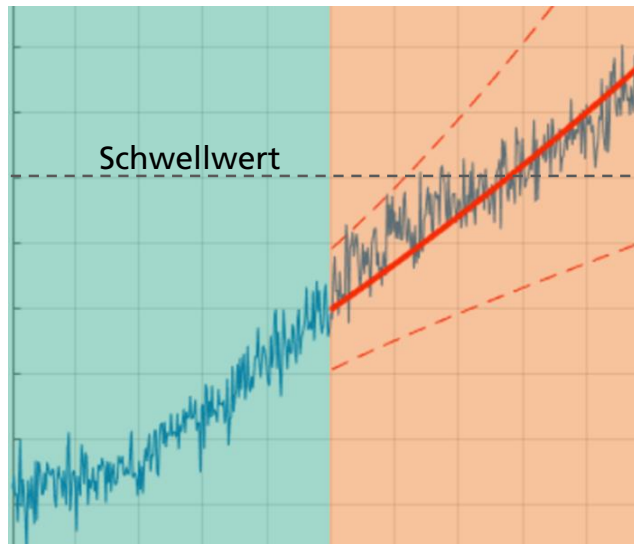
Wie verbessere  
ich den  
Systemzustand?

# WELCHE FRAGEN BEANTWORTE ICH MIT PREDICTIVE MAINTENANCE?

# Condition Monitoring und Predictive Maintenance

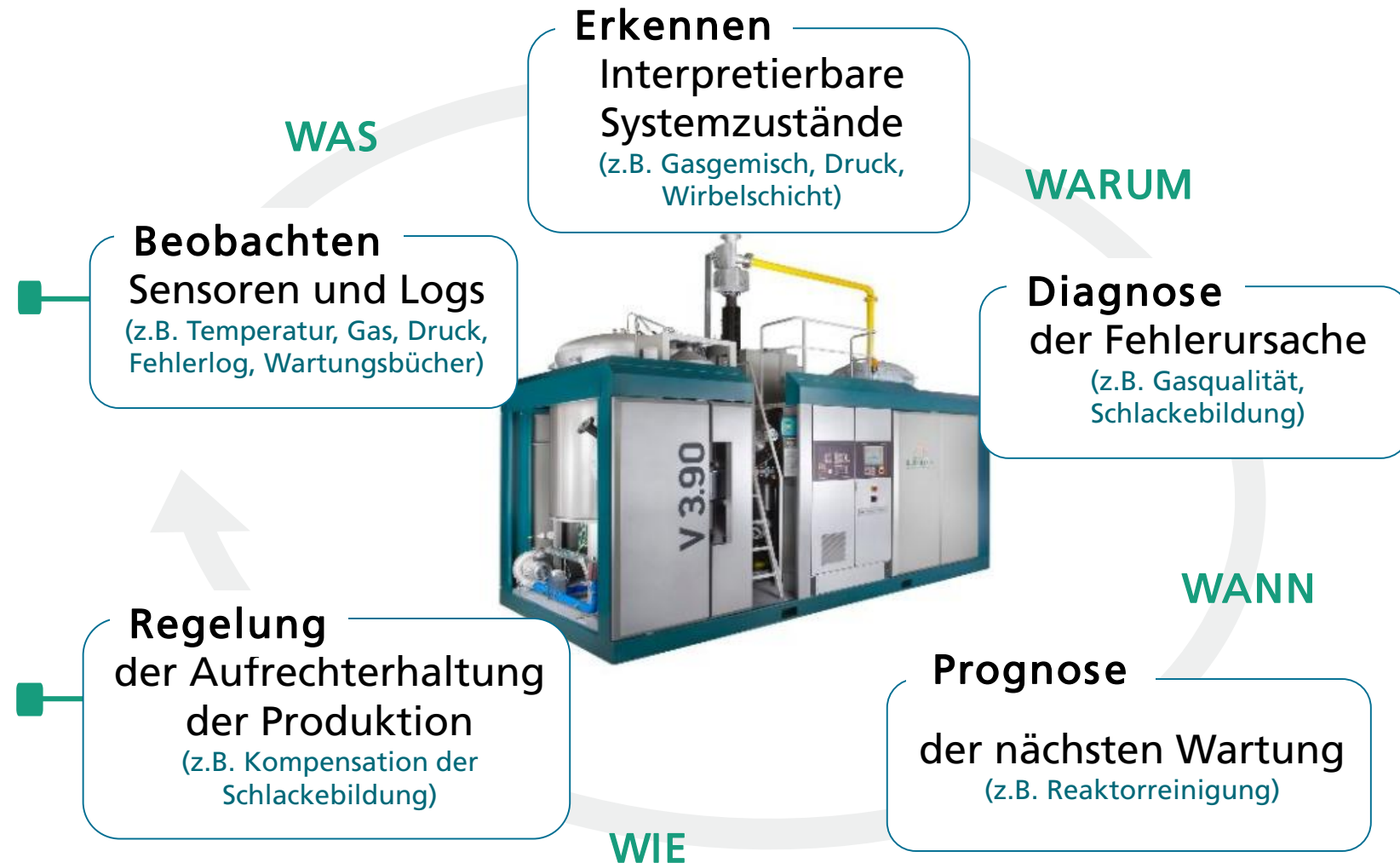
## Vorteile

- Maximale Ausnutzung der verbleibenden Lebensdauer
- Geplante Stillstandzeiten
- Vermeidung von Stillstandzeiten



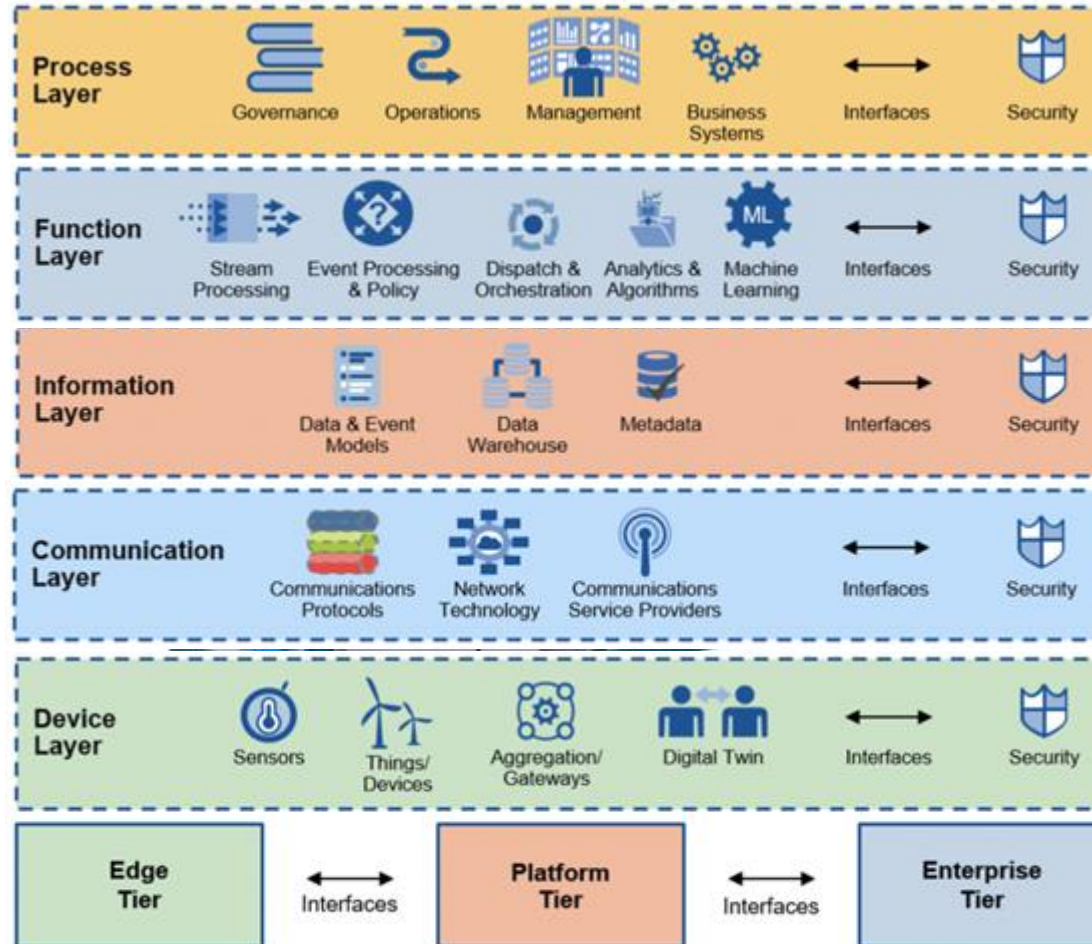
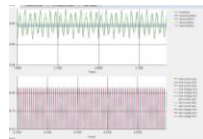
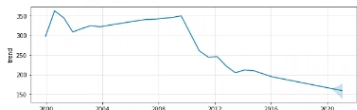
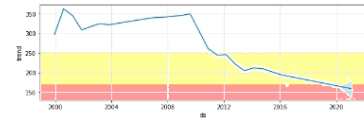
Historie  
seit letzter  
Reinigung

Prognose  
zur nächsten  
Reinigung



# Integration der Ergebnisse

## Realisierung Digitaler Zwillinge



© 2017 Gartner, Inc.

Kosten rechnen  
Risiko bewerten

Zustände überwachen  
Prädiktiv Instandhalten  
Regeln, Simulieren

Speichern  
Aggregieren  
Filtern

Übertragung

Datenerfassung  
Messtechnik

\* <https://www.fourquadrant.com/go-to-market-iot-research/>



# WELCHE DATEN KANN ICH VERWENDEN?

# Beschreibung von Systemzuständen

## Daten – welches Format?

### Zeitreihen

- Telemetrie
- Sensoren
- Ereignisse

### Metadaten

- Spezifikationen
- Eigenschaften

### Kategorische Daten

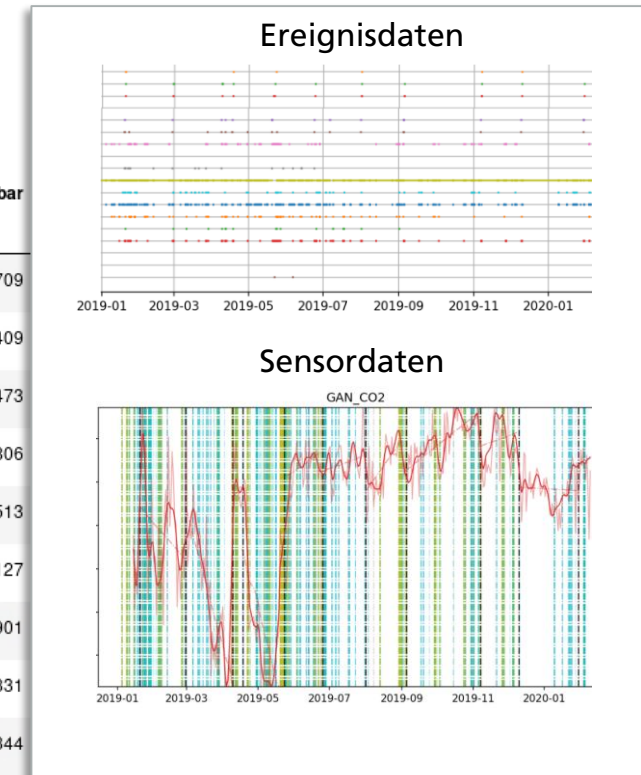
- Fehlercode, Hersteller

### Numerische Daten

- Alter, Drehzahl, Temperatur, Druck, Spannung

Timestamp	ID	GRE_T13	KHR_PosKokstr_cm	KHR_SollKoks_cm	Zuluft_kgh	dpGRE_mbar		
2019-01-20 11:45:46.786116100	2955	670.299988	139.497482	142	178	8.389709		
2019-02-28 15:19:22.818805100	3077	692.900024	134.663834	142	175	7.019409		
2019-04-09 10:51:04.411159100	3196	34.799999	134.557007	144	180	1.472473		
2019-04-18 12:38:37.807448200	3243	541.599976	139.602264	145	175	6.588806		
2019-05-23 14:53:27.282505300	3340	742.500000	142.063858	142	180	7.150513		
2019-06-25 13:49:24.215101700	3427	507.100006	134.956314	142	175	6.130127		
2019-08-01 10:55:17.294146000	3518	700.799988	139.784882	148	185	7.623901		
2019-09-05 09:52:58.989883700	3604	402.299988	139.602875	142	180	5.926331		
2019-11-07 13:48:16.535733800	3763	670.299988	134.667770	140	180	8.290344		
2019-12-10 10:05:55.247044500	3876	21.500000	127.531670	144	185	0.185120	0.000000	Reaktor ausgeräumt 0.021381
2020-01-30 09:59:20.562631600	3966	3276.699951	122.531670	140	180	0.044800	0.000000	Reaktor ausgeräumt 0.006254

\* Auszug aus einem Logbuch eines Holzgasreaktors der Burkhardt GmbH

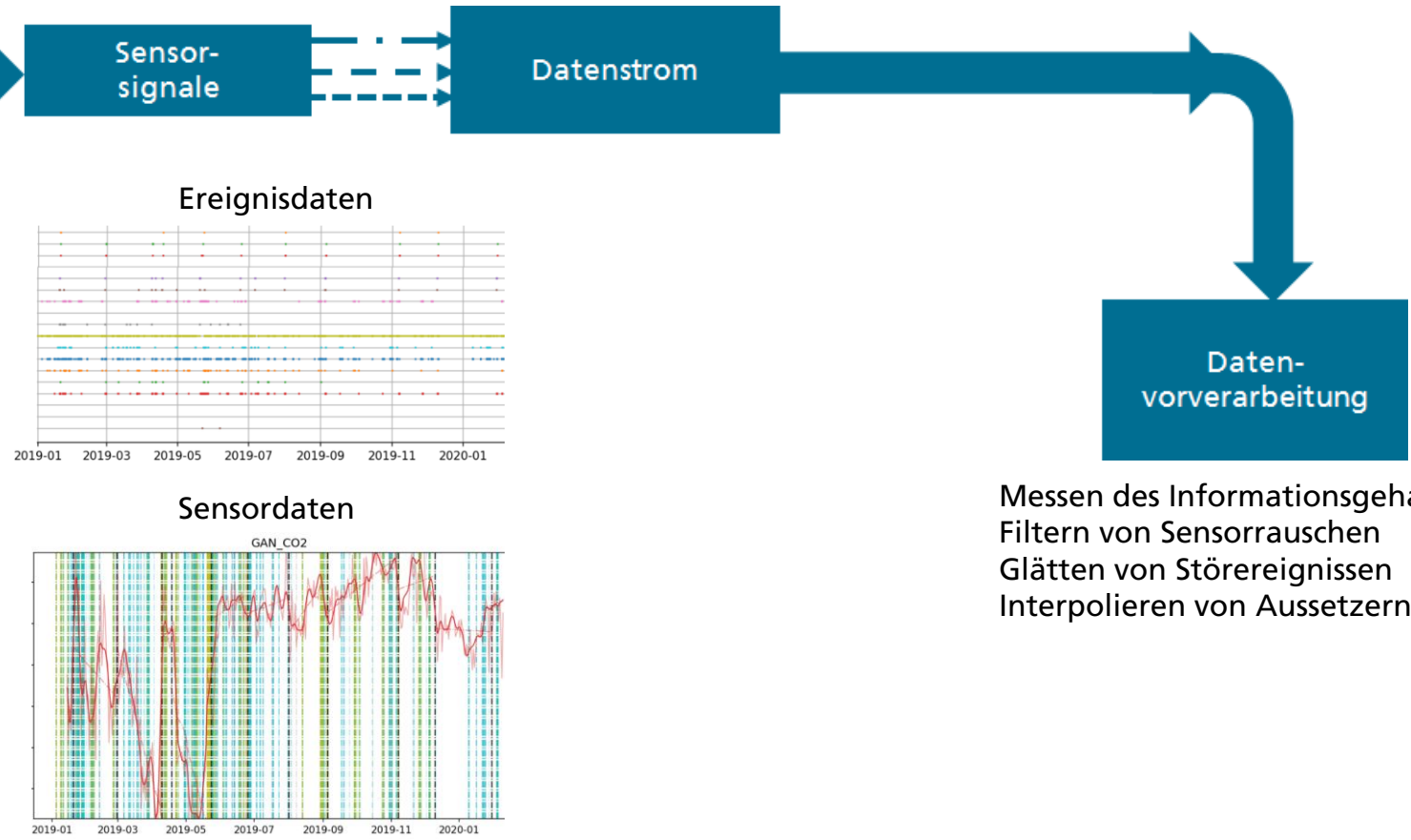




# Vorgehensweise

## Erhebung und Vorverarbeitung der Daten

Ausreichende Abtastraten konfigurieren  
Speichern der historischen Daten als Zeitreihen



# Vorgehensweise Konstruktion von Merkmalen



Merkmale zur Gasqualität,  
Druckverhältnissen,  
Wirbelschicht.

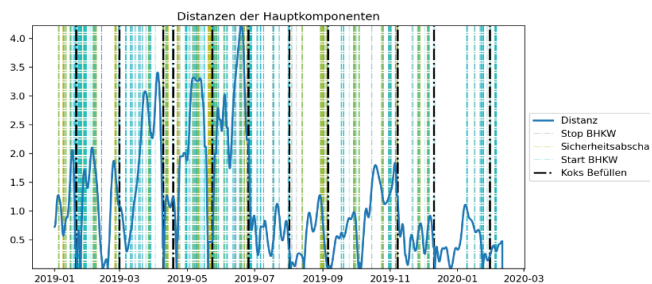
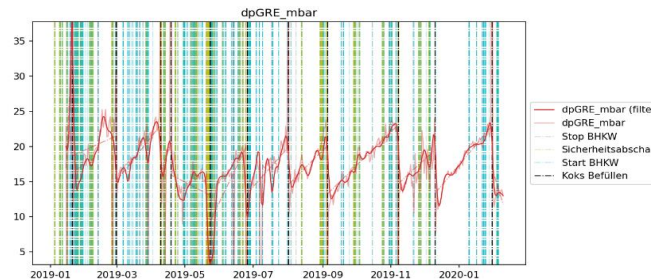
Relevanter Bezug zu  
Reinigungsaktionen

Sensor-  
signale

Datenstrom

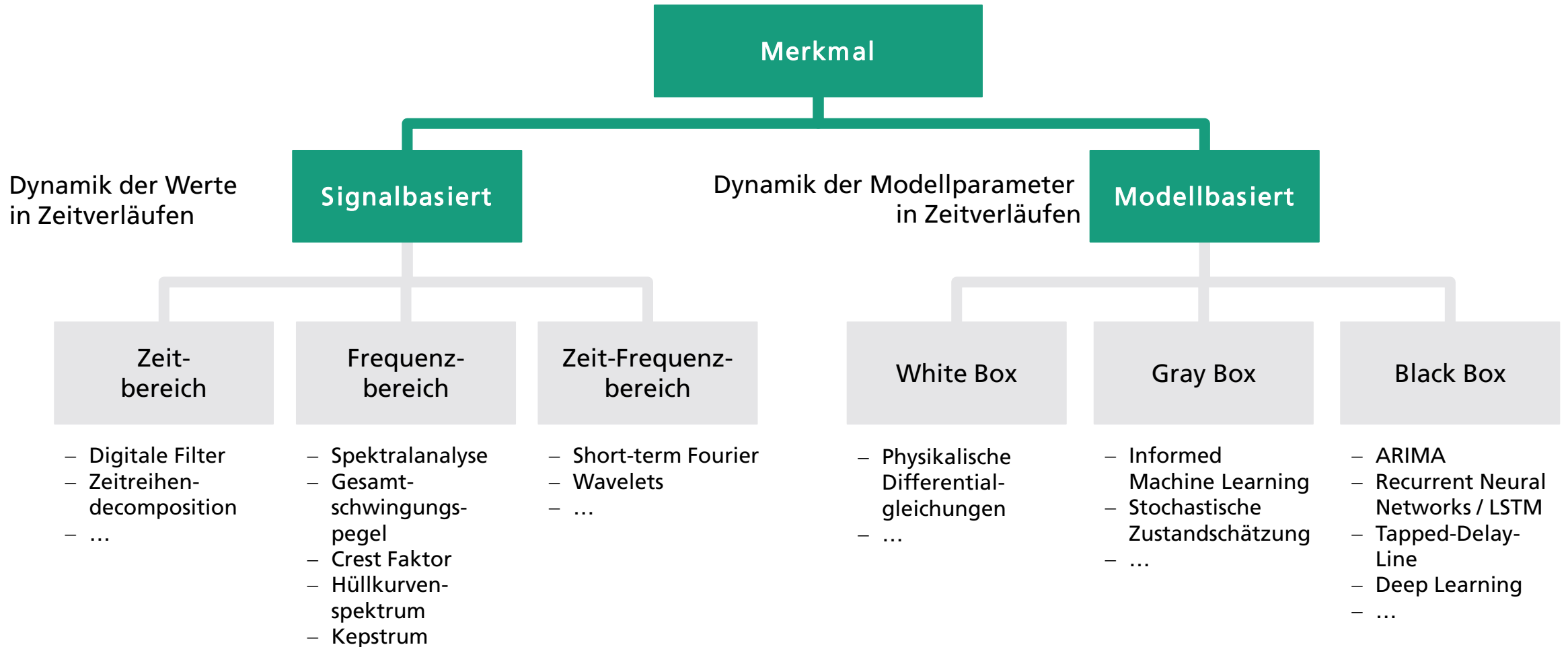
Daten-  
vorverarbeitung

Merkmale:  
Auswahl  
Konstruktion  
Fusion



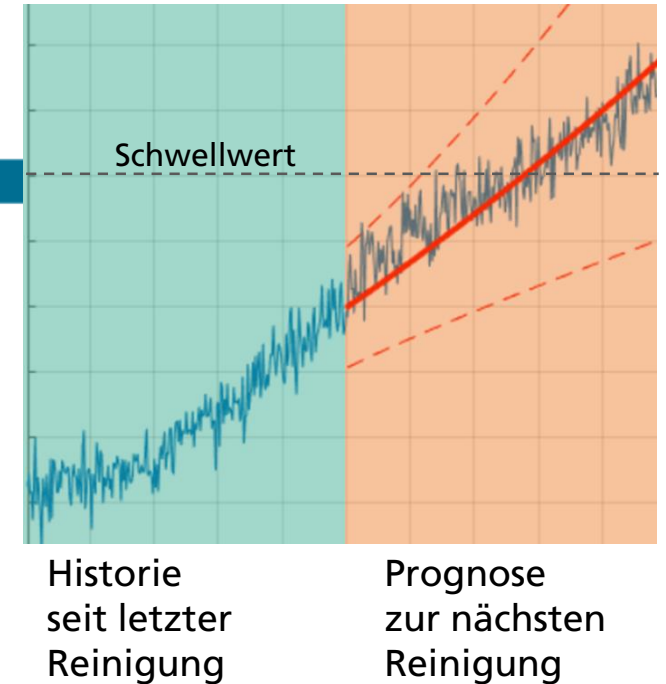
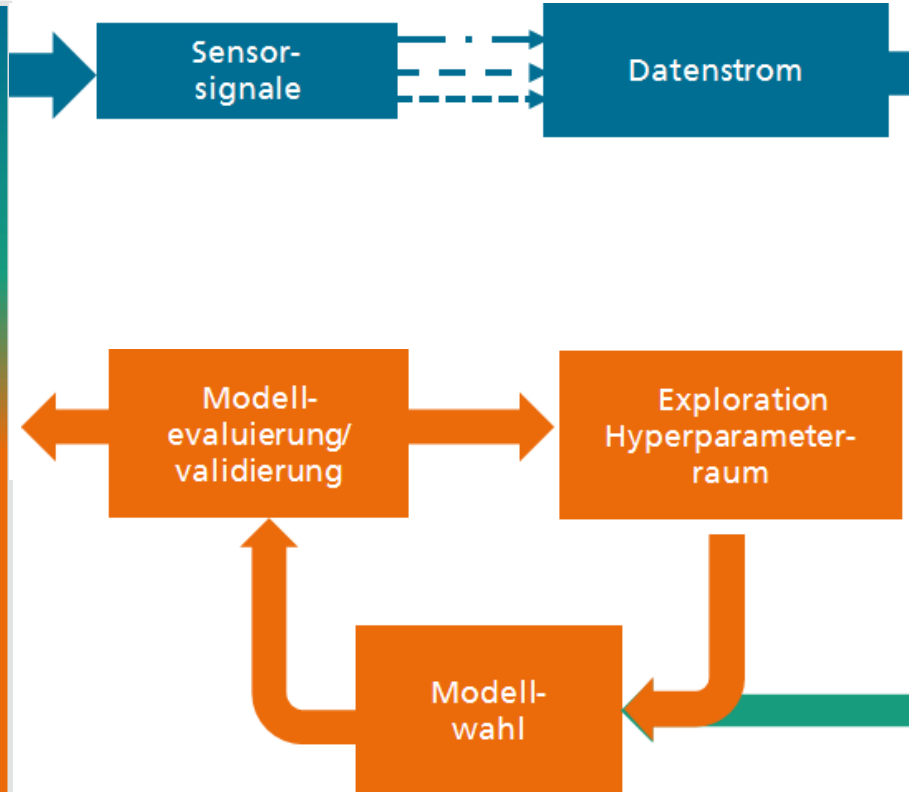
# Beschreibung von Systemzuständen

## Konstruktion von Merkmalen



# Vorgehensweise

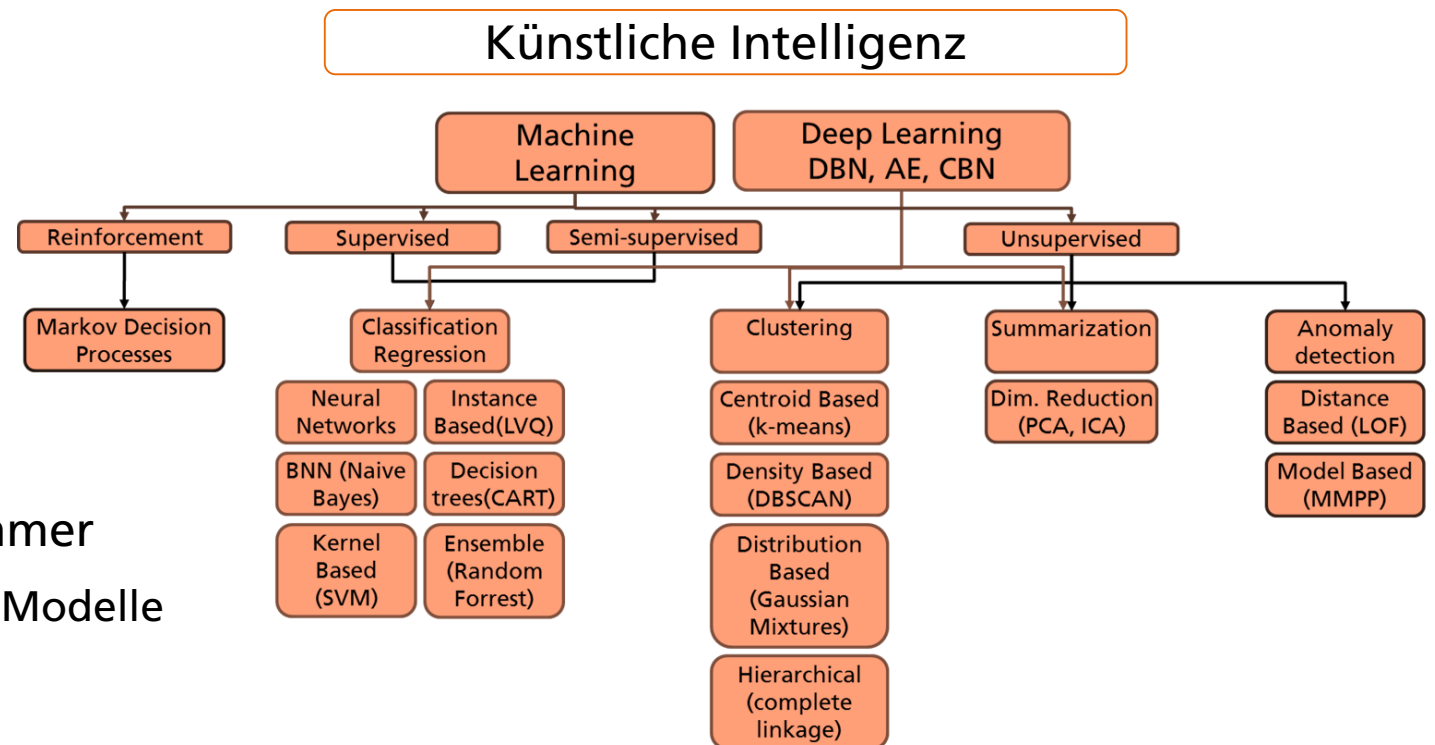
## Maschinelles Lernen: ein Modell trainieren, bis es die Daten erklärt



# Maschinelles Lernen

## Welches Modell ist das richtige?

- Wahl des Verfahrens abhängig von
  - der Aufgabenstellung
  - Daten und Informationen
- Kopplung von Verfahren sinnvoll
  - So einfach wie möglich, so komplex wie nötig.
- Integration von Systemwissen hilft immer
  - Verringert Komplexität datenbasierter Modelle



HOLZVERGASER V3.90 MIT BHKW ECO 165 HG



Projektbeispiel

# BHKW MIT HOLZPELLETS

## BURKHARDT GMBH

# Predictive Maintenance an Blockheizkraftwerken

**Vision:** Reduktion von Reaktorreinigungen

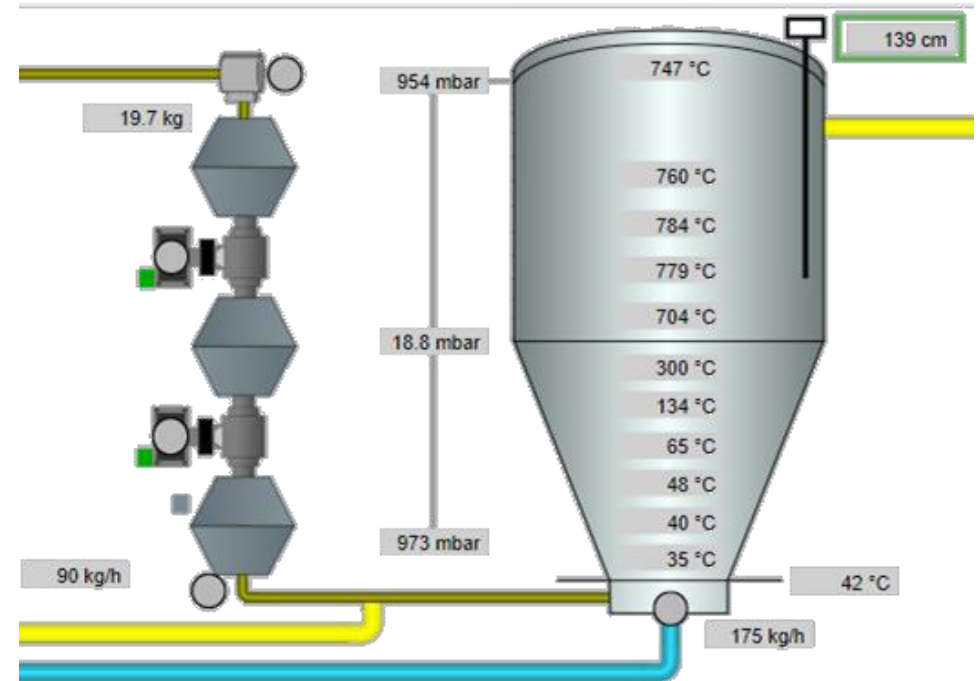
**Daten:** Jahresdaten, > 40 Kanäle, >20 Anlagen

**Merkmale:**

- Druckverhältnisse
- Gasqualität
- Zustand der Wirbelschicht

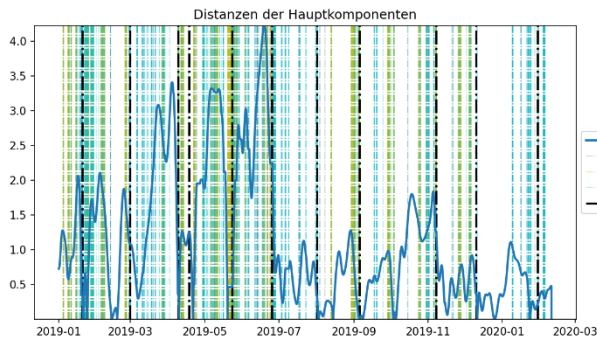
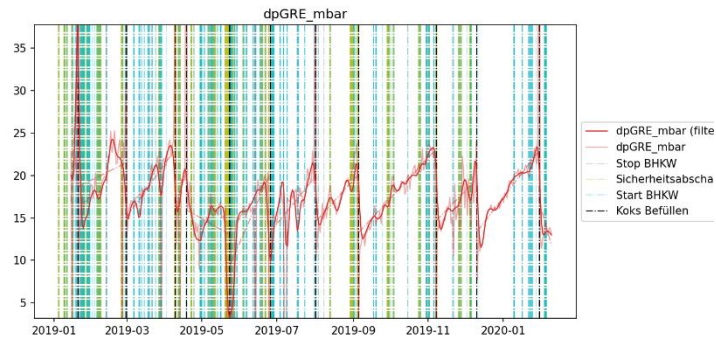
**Prognosemodell:**

- Vorhersage der nächsten Reinigungen über Schwellenwerte

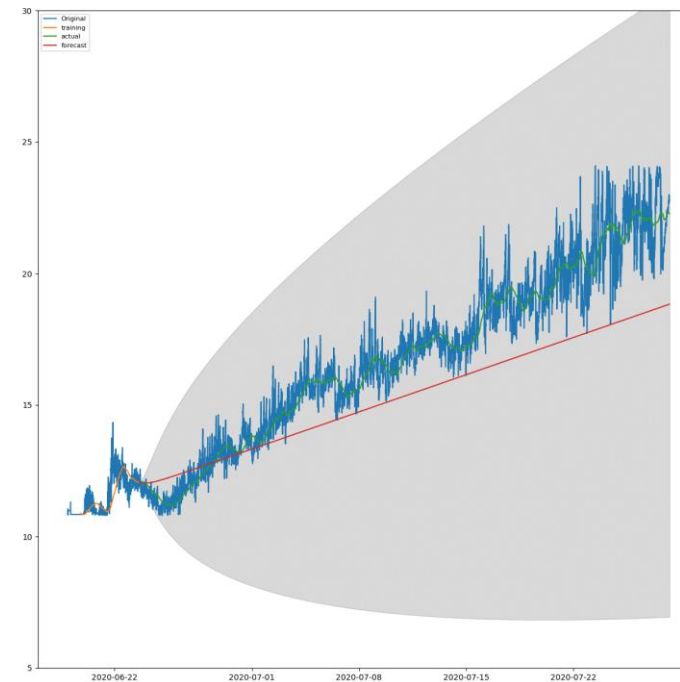


# Predictive Maintenance für Blockheizkraftwerke: Vorhersage der nächsten Reaktorauskehrung

## Identifikation der Trendentwicklung von Druck und Gasqualität



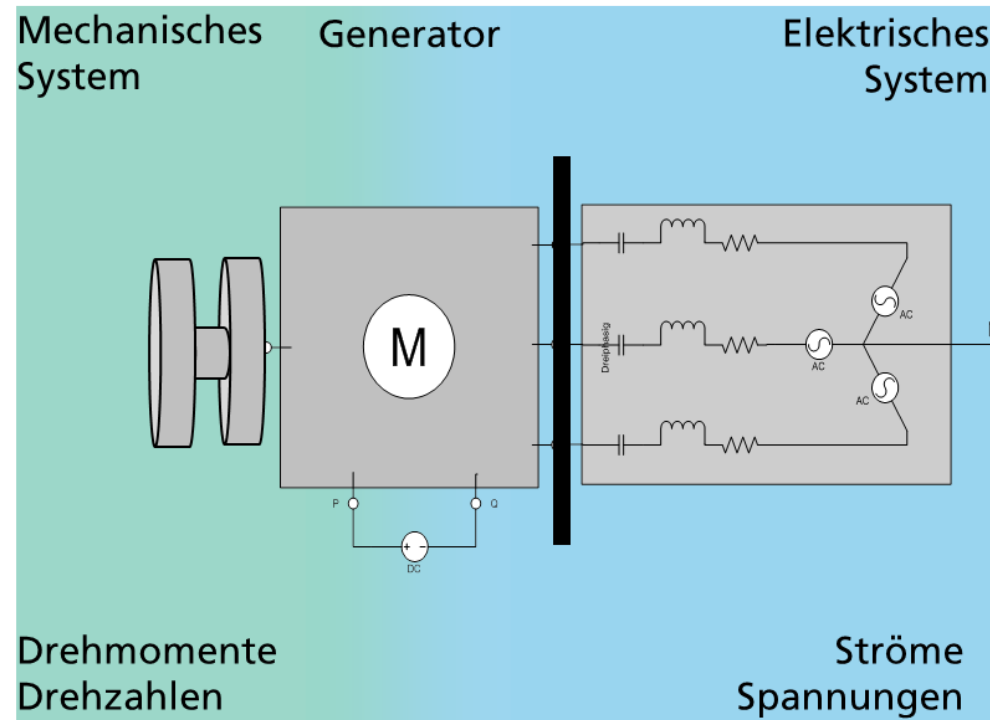
## Prädiktor über den Differenzdruck





## Mechanische Überlastung

- Kupplungsschäden
- Schaufelschäden
- Lagerschäden
- Getriebeschäden
- ...



## Netzfehler

- Wechselrichter
- Überspannung
- Netzkurzschluss
- Klemmenkurzschluss
- Subsynchronresonanzen
- ...

Condition Monitoring rotierender Antriebe

# ANALYSE VON WECHSELWIRKUNGEN IM GEKOPPELT ELEKTRO-MECHANISCHEM SYSTEM

# Condition Monitoring rotierender Antriebe

## Torsionsmonitoring

### Leistungen im Bereich Torsionsmonitoring

- Drehmomentsensor
- Messkarte
- Monitoring Software

### Entwicklungspartner

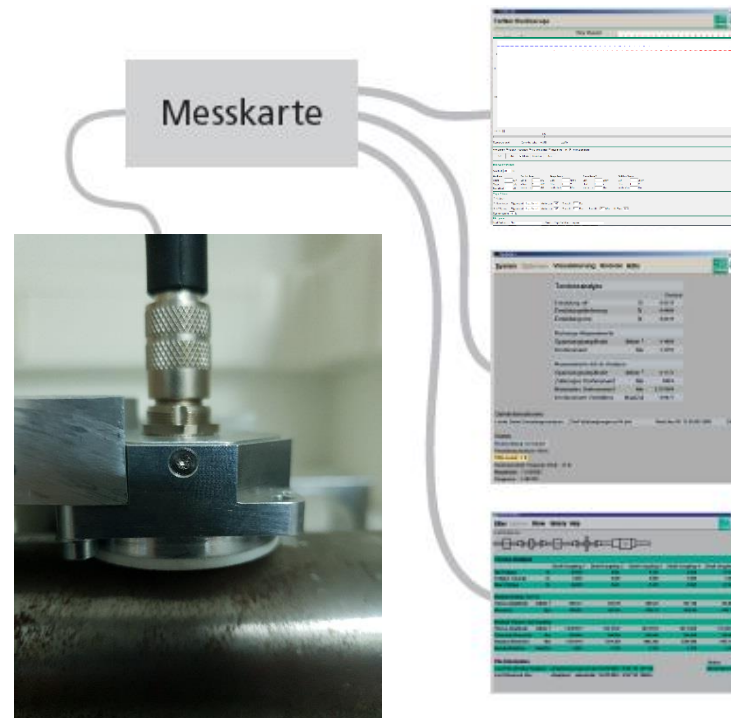
- TU Dortmund, EAM, Prof. Kulig

### Inbetriebnahme

- u.a. Uniper-Anlagen Service

### Einsatzgebiete

- Kraftwerke (weltweit über Uniper, RWE, ABB, ESB...)
- Industrieanlagen (BASF,...)



### TorGrid

Turbosatz und elektr. Netz Monitoring

### TorFat

Erfassung relevanter Schwingungen & Zustandsbewertung

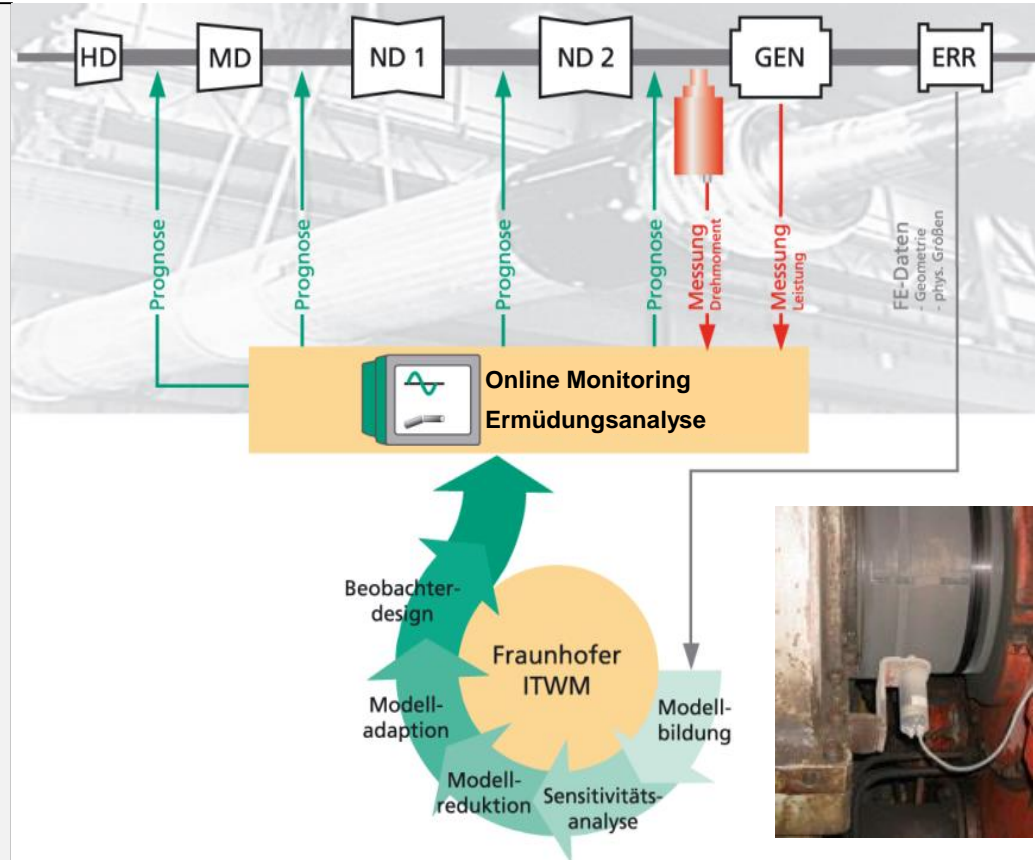
### TorAn

Torsionsprognose und Zustandsbewertung mittels robustem Zustandsschätzer

# Monitoring und Zustandsbewertung durch Torsionsschwingungen

## TorAn – Torsion Analyst Online Torsions- schwingungsprognose mit mathematischem Beobachter

- anwendbar bei jedem rotierenden System
- minimale Anzahl von Sensoren
- auch an unzugänglichen Komponenten



Erfassung und Prognose  
von Torsionsschwingungen

Detektion von kritischen  
Ereignissen

Ermüdungsbewertung des  
Ereignisses für kritische  
Bauteile

Akkumulation aller kritischen  
Events für Bauteile zur  
Zustandsbewertung

# Umsetzung eines Condition Monitoring und Predictive Maintenance Systems

Dr. Andreas Wirsen, Dr. Benjamin Adrian  
 Fraunhofer ITWM  
 Systemanalyse, Prognose und Regelung

Benjamin.Adrian@itwm.fraunhofer.de  
<https://www.itwm.fraunhofer.de/pm>



Mit herzlichem Dank an  
 ASUE und Burkhardt GmbH.

