

## **NACHHALTIGKEIT AM STANDORT NEURATH: GEMEINSAME VERWENDUNG VON VIRTUELLER SENSORIK UND EINES MESSDATENMANAGEMENT-SYSTEMS VEREINFACHEN ZUSTANDSORIENTIERTE WARTUNG**

Michael Skomrock, Alexander Loup, Dr. Jürgen Brandt, Eike Martensen, Florian Binder, Dr. Francesco Turoni

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ZUSTANDSORIENTIERTE WARTUNG.....</b>	<b>2</b>
2.1	Fehlererkennung.....	3
2.2	Prozessmodelle .....	4
2.3	Virtuelle Sensoren.....	4
2.4	Messdatenmanagementsystem .....	6
<b>3</b>	<b>ZUSTANDSORIENTIERTE WARTUNG DER HEIßLUFT-VENTURI-MESSUNGEN AM STANDORT NEURATH .....</b>	<b>8</b>
3.1	Frühzeitige Fehlererkennung der Druckmessungen .....	11
3.2	Frühzeitige Fehlererkennung der Heißluft-Venturi-Messung .....	12
<b>4</b>	<b>FAZIT .....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>15</b>

### **1 EINFÜHRUNG**

Der Wandel des Energiesektors hin zu einer CO<sub>2</sub>-armen Energieversorgung ist für alle Kraftwerksbetreiber eine der entscheidenden Herausforderungen. Sinkende Emissionsgrenzwerte sowie die stärkere Konkurrenz mit einhergehendem wirtschaftlichen Druck erfordern das Finden neuer, effizienterer Lösungen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Die RWE Power AG erforscht, erprobt und setzt stetig neue Technologien ein, um die Kohleverstromung effizienter und flexibler zu machen.

Ein Fokus liegt auf der Optimierung von Instandhaltungsprozessen. Eine Wartung in zyklischen Intervallen erfolgt nur zufällig zum optimalen Zeitpunkt. Sie ist somit entweder noch nicht erforderlich oder bereits überfällig. Dies hat negative Auswirkungen auf Kosten, Verfügbarkeit

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

und Prozessstabilität. Die Digitalisierung bringt eine Vielzahl an Optimierungsmöglichkeiten in unterschiedlicher Komplexität mit sich. Zeitgemäße Lösungsansätze vereinfachen und optimieren den gewohnten Betriebsablauf und können genutzt werden, um schrittweise eine Lösung zu etablieren, welche die Nachhaltigkeit der Instandhaltung in den Vordergrund stellt.

RWE wendet die Methode der zustandsorientierten Wartung von Heißluft-Venturi-Messungen bereits an den Blöcken D & E im Standort Neurath an. Im Rahmen eines Pilotprojekts wurde 2017 die virtuelle Sensorlösung EU<sub>SOFT</sub> AIR mit dem web-basierten Messdatenmanagementsystem EU-MDM der Firma EUtech verbunden, um den jeweiligen Zeitpunkt der Wartung zu optimieren. Die erarbeitete Lösung erweist sich als erfolgreich.

## 2 ZUSTANDSORIENTIERTE WARTUNG

Im Gegensatz zur zyklischen Wartung wird bei einer zustandsorientierten Wartung der Zustand von Anlagenkomponenten kontinuierlich überprüft, sodass die notwendige Instandhaltung und entsprechenden Maßnahmen nur bei Bedarf, also zum optimierten Zeitpunkt durchgeführt wird.

Zustandsorientierte Wartung und die dahinterliegenden Algorithmen können dann profitabel eingesetzt werden, wenn in der modernen Prozessführung bereits digitale Systeme bestehen, um die Signale von Mess-, Steuerungs- und Regelungssystemen zu verarbeiten. Je nach Messdatenmanagementsystem ist es möglich, zustandsorientierte Wartung unter minimalem Kostenaufwand zu implementieren und gleichzeitig die bestmöglichen Resultate zu erzielen. [1] [2]

Die Etablierung von neuen Bemessungsgrundlagen und Systemlösungen, wie zum Beispiel EU<sub>SOFT</sub> AIR ist immer an kommerzielle Bedingungen und an die Akzeptanz der Nutzer geknüpft.

- Anschaffungs- und Umsetzungskosten der Technologie müssen wirtschaftlich sein
- Die technische Lösung muss einfach handhabbar und transparent sein
- Die eingesetzte Technologie muss in Komplexität und Umfang so angepasst sein, dass keine zu großen Veränderungen im Betriebsablauf und Umstrukturierungen notwendig werden
- Aus den Messdaten müssen die richtigen Informationen abgeleitet werden, um verwertbares Wissen zu extrahieren

Ursprünglich sind zustandsorientierte Wartungen an Komponenten zum Schutz der Anlage oder Erhalt der Anlagensicherheit durchgeführt worden. Da wirtschaftliche und smarte Lösungen zur Verbesserung der Prozesse seitens der Betreiber gefordert und gefördert werden, rücken Tools wie EU<sub>SOFT</sub> AIR und EU-MDM in den Fokus. Dabei ist eine optimale Verknüpfung der Messdaten, der Expertisen für die verfahrenstechnische Bewertung der Anlagen in Kombination von flexiblen Plattformen von sehr großer Bedeutung. Die wirtschaftlich-technische Umsetzung bei einfacher Integration und Handhabbarkeit verlangt viel Know-how. Eine schrittweise

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

Umsetzung der Maßnahmen erweist sich häufig als zielführend. Schwerpunktmäßig ist darauf zu achten, dass die angewandte Technologie modular und skalierbar ist.

Grundlage für die technische Umsetzung von zustandsorientierter Wartung ist die Fehlererkennung und die dahinterliegenden Algorithmen und Modelle. Eine Systemumgebung zur Weiterverarbeitung und Visualisierung der gewonnenen Informationen ist dabei obligatorisch.

### 2.1 FEHLERERKENNUNG

Neben der Möglichkeit der signalbasierten Fehlererkennung bietet die modellbasierte Fehlererkennung und Diagnose die Option der Fusion einer Gesamtheit von vielen verfügbaren Mess- und Steuergrößen, um virtuelle Signale zu generieren, welche gleichwertig zu den zentralen physikalischen Messungen sind. Der ableitbare Informationsgehalt aus den betrachteten Daten kann so groß sein, dass belastbare Signale daraus extrahiert werden können. [3]

Folgende Darstellung gibt einen Überblick über die Funktionsweise der modellbasierten Fehlererkennung.

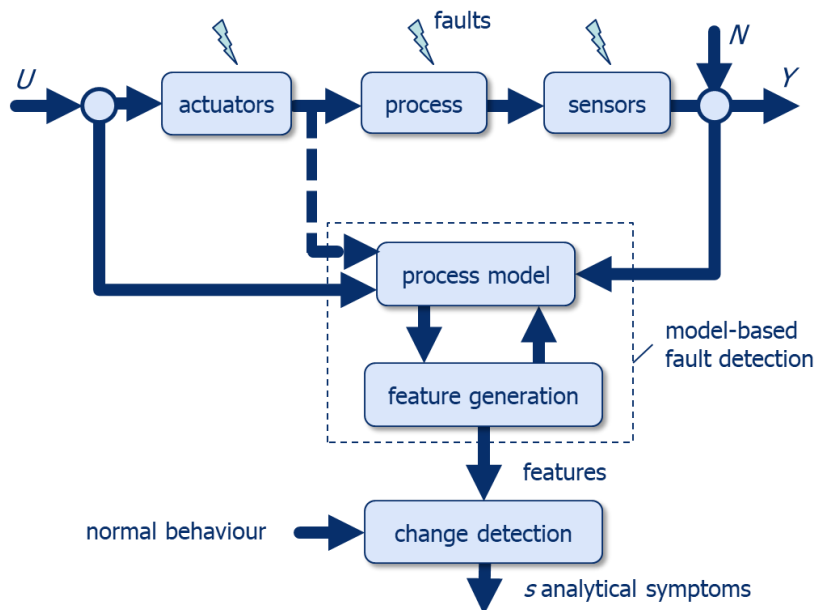


Abbildung 1: Funktionsschema der modellbasierten Fehlererkennung [4]

Messbare Größen  $U$  werden gemeinsam mit Prozessausgangsgrößen  $Y$  und Steuerungssignalen für die Aktoren im Prozessmodell genutzt. Innerhalb der Fehlererkennung werden Merkmale (*features*), wie Abweichungen der realen Signale von Modellsignalen (virtuelle Sensoren) oder adaptive Modellzustände und Modellparameter, generiert. Diese Eigenschaften können in einem nächsten Schritt hinsichtlich ihrer Veränderung untersucht und mit dem Normalzustand

verglichen werden, um analytische Symptome  $s$  abzuleiten. Symptome können auf Fehler im Prozess, Messfehler der Sensoren und Fehler der Aktoren hinweisen. [4]

## **2.2 PROZESSMODELLE**

Die Prozessmodelle können sehr unterschiedlich aufgebaut sein. Für die Umsetzung einer modellbasierten Fehlererkennung ist zwischen theoretischen und experimentellen Methoden selektiv auszuwählen, da beide spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Während bei den theoretischen Modellen die physikalischen Gesetzmäßigkeiten ausreichend bekannt sein müssen, basieren rein experimentelle Modelle auf phänomenologischen Beobachtungen und werden daher auch als datengetriebene Modelle (z.B. neuronale Netze) bezeichnet.

Sind die physikalischen Zusammenhänge nicht komplex oder z.B. durch Linearisierung ohne großen Aufwand reduzierbar, hat der theoretische Ansatz den Vorteil, dass die mit dem Modell verarbeiteten Daten kontinuierlich physikalisch plausibilisiert werden. Unter Umständen wird durch die vereinfachte Modellierung ein dynamisches Prozessverhalten unzureichend abgedeckt, welches hinsichtlich der Zielsetzung, im Rahmen einer Fehlererkennung, berücksichtigt werden sollte [3]. Physikalische Randbedingungen in den modellierten mathematischen Zusammenhängen ermöglichen es die notwendige Datenmenge klein und die Zusammenhänge greifbar zu halten. Physikalische Modelle sind extrapolationsfähig und können Betriebsbereiche wiedergeben, welche in den historischen Daten des modellierten Prozesses nicht oder kaum abgebildet sind.

## **2.3 VIRTUELLE SENSOREN**

Virtuelle Sensoren sind zu Standard-Tools in der industriellen Prozesskontrolle geworden, um bei gleichzeitiger Verfügbarkeitssteigerung, Prozesse flexibler und effizienter gestalten zu können. Die virtuelle Sensorik ist innerhalb einer Software-Lösung umgesetzt, welche eine virtuelle Abbildung bzw. einen digitalen Zwilling des betreffenden Prozessabschnitts beinhaltet.

Das Einsatzgebiet ist vielseitig, deckt im Wesentlichen folgende Kerndisziplinen ab:

- Ergänzung und Unterstützung von bestehenden physikalischen Sensoren
- Erweiterung der physikalischen Sensorik um weitere Messpunkte unter reduzierten Hardware-Kosten
- Bereitstellung von „real-time“ Daten für gehobene Regelungsansprüche
- Ermöglichen von „what-if“ Analysen
- Validierung, Fehlererkennung und Diagnose [1]

Angesichts der Herausforderungen bei der ökonomisch und technisch sinnvollen Umsetzung einer zustandsorientierten Wartung, beispielsweise von Heißluft-Venturi-Messungen, wird im

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

Folgendes auf die bewährte und kommerziell verfügbare virtuelle Sensorlösung EU<sub>SOFT</sub> AIR eingegangen.

Nicht alle Verbrennungsanlagen sind mit brennergenauen Luftmengenmessungen ausgestattet. Häufig sind diese Messungen typischerweise ungenauer und empfindlicher als beispielsweise zentrale Gesamtluftmessungen im Bereich der Frischlüfter. [2]

EU<sub>SOFT</sub> AIR dient der Bestimmung von Größen der Luftführung in Verbrennungsanlagen wie z.B. Biomasse- bzw. Kohlekraftwerken oder Müllverbrennungsanlagen. An mehreren Blöcken der Kraftwerke Neurath und Niederaußem sind die virtuellen Sensoren von EUtech erfolgreich im Einsatz. In der bisher üblichen Anwendung stellt EU<sub>SOFT</sub> AIR primär die notwendigen, zuverlässigen und genauen brennerspezifischen Luftmengenwerte für die modernen leittechnischen Systeme zur Verfügung. Zudem kann die Software-Lösung alternativ so konfiguriert werden, dass die zentrale Heißluft-Venturi-Messung, die gesamte brennerspezifische Verbrennungsluft, selbst als virtuelles Signal zur Verfügung steht. Dies ermöglicht eine Weiterverarbeitung der virtualisierten Messung im Rahmen einer automatisierten und kontinuierlichen Validierung der Heißluft-Venturi-Messung.

Die Lösung der virtuellen Sensorik basiert auf einem physikalisch motivierten Modell des hydraulischen Systems der Verbrennungsluftführung. Die Modellparameter sind zunächst anhand physikalischer Kennzahlen abgeschätzt und werden anhand von Parameteridentifikation durch historische Prozessdaten an tatsächliche Zustände adaptiert. Das System ist damit wartungsarm und leicht zu implementieren [5]. Die folgende Abbildung 2 zeigt schematisch das Funktionsprinzip von EU<sub>SOFT</sub> AIR.

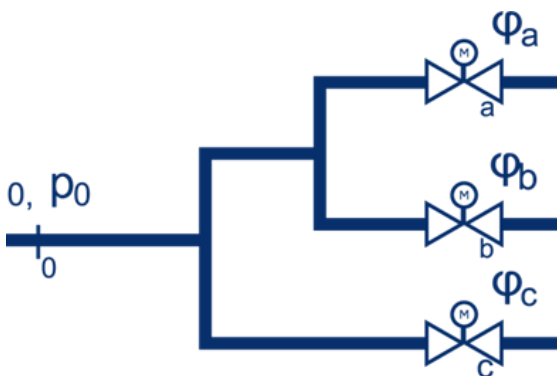


Abbildung 2: Funktionsschema von EU<sub>SOFT</sub> AIR

Zur Parametrierung des Modells werden folgende Informationen benötigt:

1. Druckmessungen entlang des gesamten Verbrennungsluftsystems
2. Luftklappenstellungen
3. Struktur des Luftsystems
4. Verfügbare konventionelle Luftmengenmessungen

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

Weitere Daten wie Sauerstoffüberschuss, Emissionswerte, etc. können zur Validierung hinzugezogen werden, um die Parametrierung robuster zu gestalten.

### 2.4 MESSDATENMANAGEMENTSYSTEM

Um den Anforderungen bei der Umsetzung von zustandsorientierter Wartung, im Kontext der Fehlererkennung durch virtuelle Sensoren und deren Implementierung gerecht zu werden, ist eine individuell angepasste Messdatenanalyseumgebung notwendig. EU-MDM ist ein fortschrittliches webbasiertes Softwareframework, welches hinsichtlich der effizienten Messdatenverarbeitung und auf die Anwendung von Analysewerkzeugen optimiert ist. Die Systemumgebung hat sich in verschiedenen Industriezweigen weltweit für die Verarbeitung von großen Mengen von Messdaten bewährt. Das Konzept von EU-MDM ist Einfachheit und Übersichtlichkeit. Die mögliche Komplexität von Analyseaufgaben wird vom Nutzer ferngehalten. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Struktur der Software.

Die Schritte der erfolgreichen Messdatenanalyse und -verarbeitung sind vom Datenimport bis zum Erstellen von Reports bereits voll funktionsfähig gegeben. Konkrete Aufgaben, welche in den einzelnen Schritten erledigt werden sollen, sind frei definierbar und werden revisionssicher in Form von Skripten hochgeladen. Damit ist die Software-Umgebung offen für die verbreiteten Data-Science-Methoden (z.B. Matlab, Python, etc.). Die Skripte mit zugehörigen Parametern sind in ihrer Konfiguration einzelnen Systemen und Systemgruppen zugeordnet, was es z.B. ermöglicht die Daten von unterschiedlichen Anlagenkomponenten, wie das Verbrennungsluftsystem verschiedener Blöcke und Mühlen in einem Kraftwerk, parallel zu verarbeiten. Die in den Datenanalyseschritten ausgeführten Aufgaben werden in einem Taskmanagement wahlweise automatisiert oder manuell gestartet. Bei entsprechender Konfiguration können Datenverarbeitungsaufgaben so gesteuert ablaufen, dass die Ergebnisse, z.B. in Form von Excel-Reports, direkt im gewohnten Betriebsablauf integriert werden können.

Die einzelnen Schritte und ihre themenspezifischen Schnittpunkte werden im Folgenden genauer beleuchtet:

#### Import:

Das System arbeitet File- oder Stream-basiert und ist hinsichtlich der verwendeten Schnittstellen flexibel. Der gleichzeitige Import aus einer Vielzahl von Quellen ist möglich. Üblicherweise werden Prozessdaten in größeren Verbrennungsanlagen in Zeitreihen auf Serversystemen (z.B. PI, KUKIS, SOLAS, etc.) gespeichert. Diese Systeme verfügen über Interfaces, welche File-basierte Downloads ermöglichen. Die Downloads werden automatisiert und kontinuierlich getriggert und in die EU-MDM Instanz importiert. Eine Versorgung der Fehlererkennung mittels EUSOFT AIR mit aktuellen Prozessdaten ist somit stets gewährleistet.

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

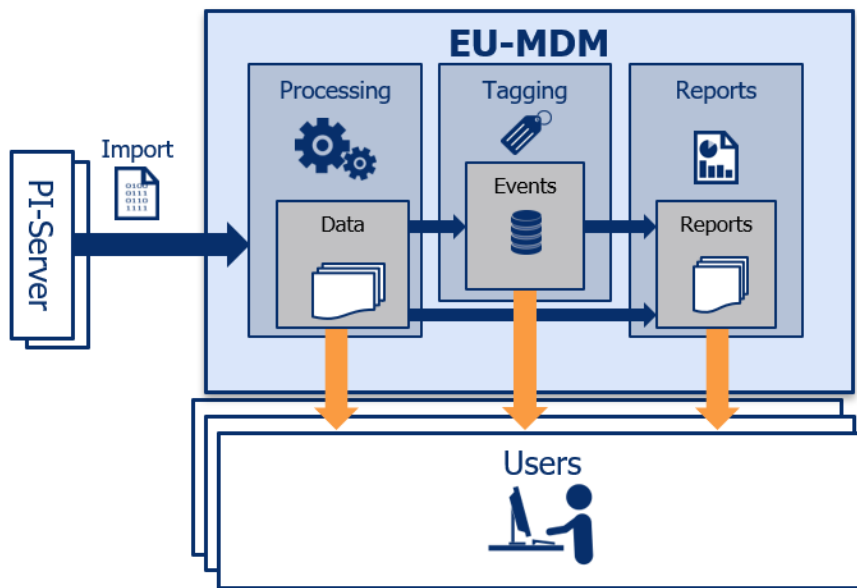


Abbildung 3: EU-MDM Schema [6]

### Processing:

Importierte Daten werden dem Zielsystem zugeordnet und automatisch konsolidiert, verifiziert und entsprechend aufbereitet und innerhalb von EU-MDM archiviert. Die virtuelle Sensorlösung EU-SOFT AIR ist in EU-MDM revisionssicher eingebettet. Ergebnisse von EU-SOFT AIR werden als neue Signale dem Datensatz hinzugefügt. In einem weiteren Postprocessing-Schritt ist das zurückladen der prozessierten Daten zur Quelle möglich.

### Tagging:

Die prozessierten Daten können automatisiert hinsichtlich bestimmter Events und Datenmuster markiert werden (z.B. Alarme, Lastzustände, Wartungsnotwendigkeiten). Auf Basis der Markierungen können die Daten durchsucht werden, um beispielsweise proaktiv Benachrichtigungen über verschiedene Kanäle auszugeben (E-Mail, SMS, etc.).

### Reporting:

Um den bestehenden Arbeitsablauf in bereits vorhanden Strukturen bestmöglich zu unterstützen, können zielgruppenorientierte Auswertungen generiert werden. Reports sind in allen gängigen Dokumentationsformaten möglich (PDF, Excel, HTML, etc.).

### Webbasierte Visualisierung:

Abbildung 4 bietet eine Ansicht des Startbildschirms der Browserdarstellung von EU-MDM. Die übersichtliche Darstellung ermöglicht einen schnellen Zugriff für die wichtigsten Aufgaben, wie das Anlegen neuer Tasks oder das Suchen von Daten oder die Erstellung von User-spezifischen Reports. EU-MDM ist durch die Web-Anbindung überall im dedizierten Netzwerk erreichbar. Benutzerspezifische Rollen können im integrierten Rechtemanagement berücksichtigt werden.

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

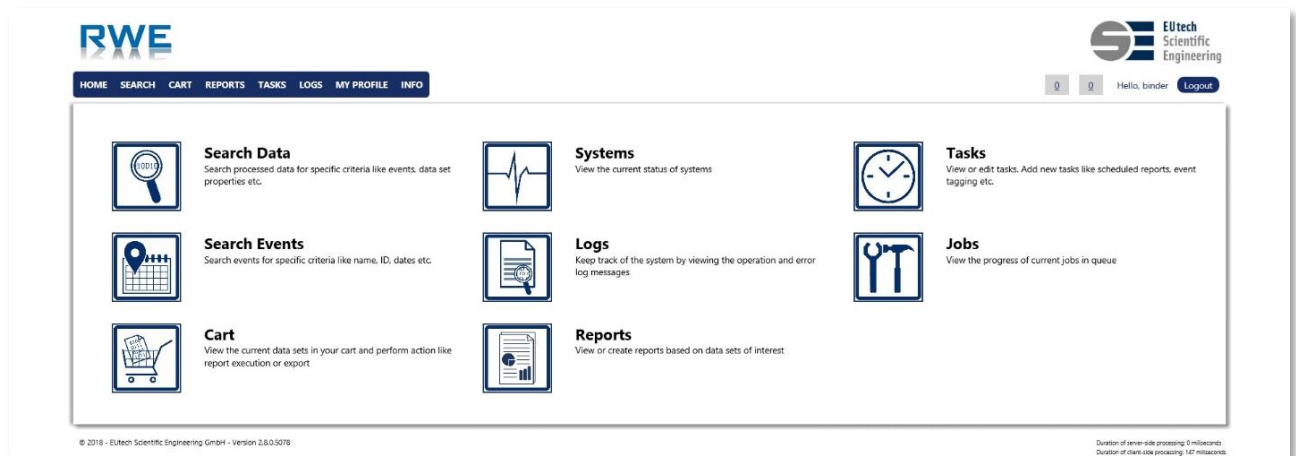


Abbildung 4: Web-Darstellung von EU-MDM für das RWE-Pilotprojekt [6]

### 3 ZUSTANDSORIENTIERTE WARTUNG DER HEIßLUFT-VENTURI-MESSUNGEN AM STANDORT NEURATH

Verfügbare Luftmengensensoren sind sensitiv hinsichtlich der Einbaulage und Strömungsverhältnisse. Dies bedingt, dass die für den Kesselbetrieb erforderlichen Messwerte nicht immer mit der erforderlichen Qualität bereitgestellt werden können. In manchen Betriebssituationen, z.B. bei den zunehmend auftretenden Laständerungen, kann dies zu gravierenden Störungen im Anlagenverhalten führen. Eine bestmögliche Wartung der essenziellen Messungen ist daher von großer Bedeutung. Dies gilt insbesondere für die zentralen Heißluft-Venturi-Messungen.

In der Vergangenheit wurde der Messwert durch Verschmutzen der Impulsleitungen mitunter verfälscht. Um die richtige Funktionsweise der Messung sicherzustellen, wurde zyklisch eine Reinigung der Impulsleitungen angestoßen. Hieraus resultiert der Bedarf einer kontinuierlichen und repräsentativen Überprüfung der Messung. Deren Ergebnisse in die Planung und Auswertung der Instandhaltungsmaßnahmen einfließen. Eine rechtzeitige Erkennung fehlerhafter Werte wirkt sich positiv auf die Stabilität des Prozesses aus.

In einem Pilotprojekt wurde in Zusammenarbeit zwischen RWE und EÜtech ein Konzept erarbeitet und umgesetzt, welches die nachhaltige Implementierung einer Methode zur zustandsorientierten Wartung der Heißluft-Venturi-Messung als Ziel hat.

Da RWE bereits über umfangreiche Erfahrungen mit komplexen und umfangreichen Lösungen verfügt, wurde hier eine skalierbare Individuallösung, welche zunächst auf die wesentlichen Optimierungspotentiale abzielt, gefordert. Modularität soll dafür sorgen, dass, nach initialer Umsetzung, Schritt für Schritt weitere Anlagenkomponenten und Analysemethoden block-, bzw. standortübergreifend hinzugefügt werden können. Das System muss so einfach und benutzerfreundlich sein, dass es sich nahtlos in den gewohnten Betriebsablauf einpflegt.



## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

Das Ergebnis der Lösungsfindung ist die Kombination aus den EU-MDM und EUSOFT AIR Systemen.

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel der EUSOFT AIR Modellstruktur, wie sie als virtuelle Sensor Lösung zur Erkennung von Anomalien im Kraftwerk Neurath an den Blöcken D und E implementiert wurde. Hierzu wurde das komplette Verbrennungsluftsystem, ausgehend vom Luftvorwärmer bis zu den brennerspezifischen Einzellüften wie Primärluft, Sekundärluft und Ausbrandluft, berücksichtigt und abgebildet.

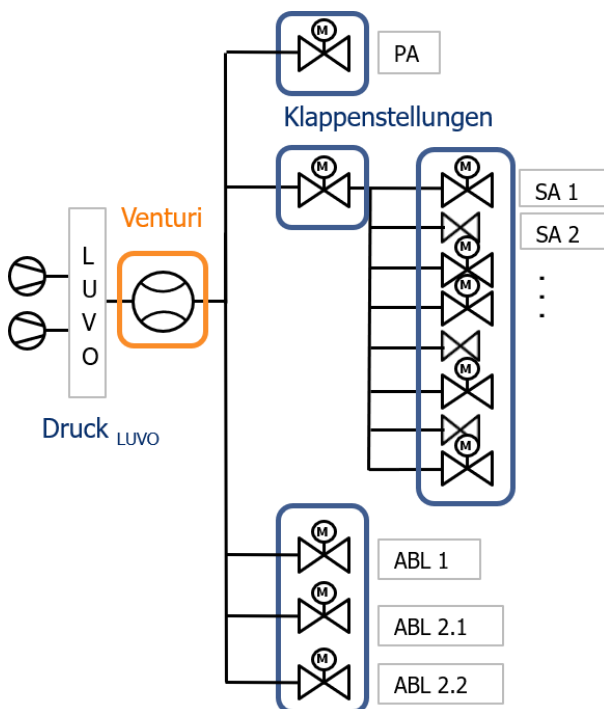


Abbildung 5: EUSoft air Modellstruktur im KW-Neurath

Die innerhalb EU-MDM implementierte Fehlererkennungsmethode vergleicht die virtuellen Signale der einzelnen Heißluft-Venturi-Messungen, welche durch EUSOFT AIR generiert werden, mit den realen physikalischen Messsignalen. Das daraus abgeleitete Merkmal ist die, wie folgt definierte Güte der physikalischen Messsignale:

- Zeitlicher Anteil der Signalabweichung innerhalb eines definierten Betrachtungszeitraums (Suchfenster)
- Sobald die Messsignale über ein bestimmtes Toleranzband um den Referenzwert abweichen, wird eine Anomalie erkannt

Suchfenster und Toleranzband sind individuell skalier- und definierbar. Dabei kann die Toleranzbandbreite von unterschiedlichen Betriebszuständen der Gesamtanlage abhängig gemacht werden.

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

In einem weiteren Schritt der Fehlererkennung wird die generierte Signalgüte mit dem definierbaren Normalzustand verglichen, um analytische Symptome abzuleiten. Folgende Symptome bzw. Zustände der Heißluft-Venturi-Messungen konnten identifiziert werden:

- Messung OK
- Abweichungen festgestellt
- Wartung Notwendig
- Fehlende Daten

Durch „Fehlende Daten“ werden Fehlalarme vermieden, wenn Gütekriterien nicht eingehalten werden, weil beispielsweise spezifische Signale temporär nicht verfügbar sind. Die Unterscheidung zwischen festgestellten Abweichungen und notwendiger Wartung rührt daher, dass z.B. Wartungs- oder Reparaturarbeiten selbst zu Signalabweichungen führen können aber nicht direkt eine Wartungsnotwendigkeit bedeuten. Diese und weitere Einflüsse werden bei der Festlegung der Grenzwerte, für die Ableitung der beschriebenen Symptome anhand der Signalgüte berücksichtigt. Abbildung 6 stellt die Übersichtsseite des automatisierten Excel-Reports über einen diskreten Zeitraum der Vergangenheit dar. Dieser bildet in Neurath die Bewertungsgrundlage, um Wartungsarbeiten zustandsorientiert anzustoßen. Neben der Parametrierung der Fehlererkennung weisen zusätzlich einfach zu erkennende Ampelsignale für die einzelnen Messpositionen auf die jeweilige Güte des Zustandes der Messung hin.

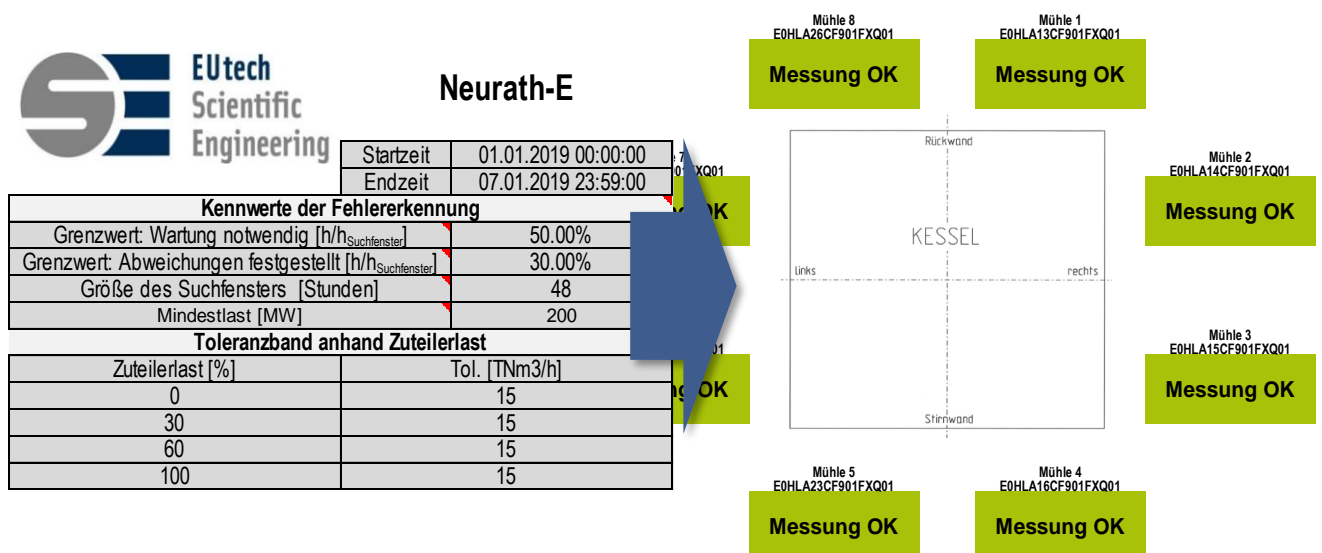


Abbildung 6: Übersicht der Fehlererkennung

In Abbildung 7 ist beispielhaft ein Report für die acht Venturi-Messungen dargestellt. Die virtuellen Sensoren spiegeln das Verhalten der realen Messung gut wider. Dies ist erkennbar am deckungsgleichen Verlauf der Korrelationspunkte mit der Referenzlinie im Streudiagramm

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

(rechts). In der zeitlichen Darstellung (links) von virtuellem Referenzsignal (grün) und physikalischer Messung (schwarz) ist außerdem das Toleranzband (orange) mit dargestellt. Reports wie dieser werden automatisch, täglich rückblickend für einen Zeitraum von einer Woche bereitgestellt, und geben so eine stetige Information über den Zustand der untersuchten Messungen.

Die messungsspezifischen Auswerte-Reports enthalten ebenfalls Informationen über die Wartungsnotwendigkeit und können bei Bedarf direkt dem entsprechenden Instandhaltungsteam übergeben werden. Die einzelnen Signaldaten werden in einem zusätzlichen Excel-Sheet zur möglichen Weiterverarbeitung ebenfalls exportiert.

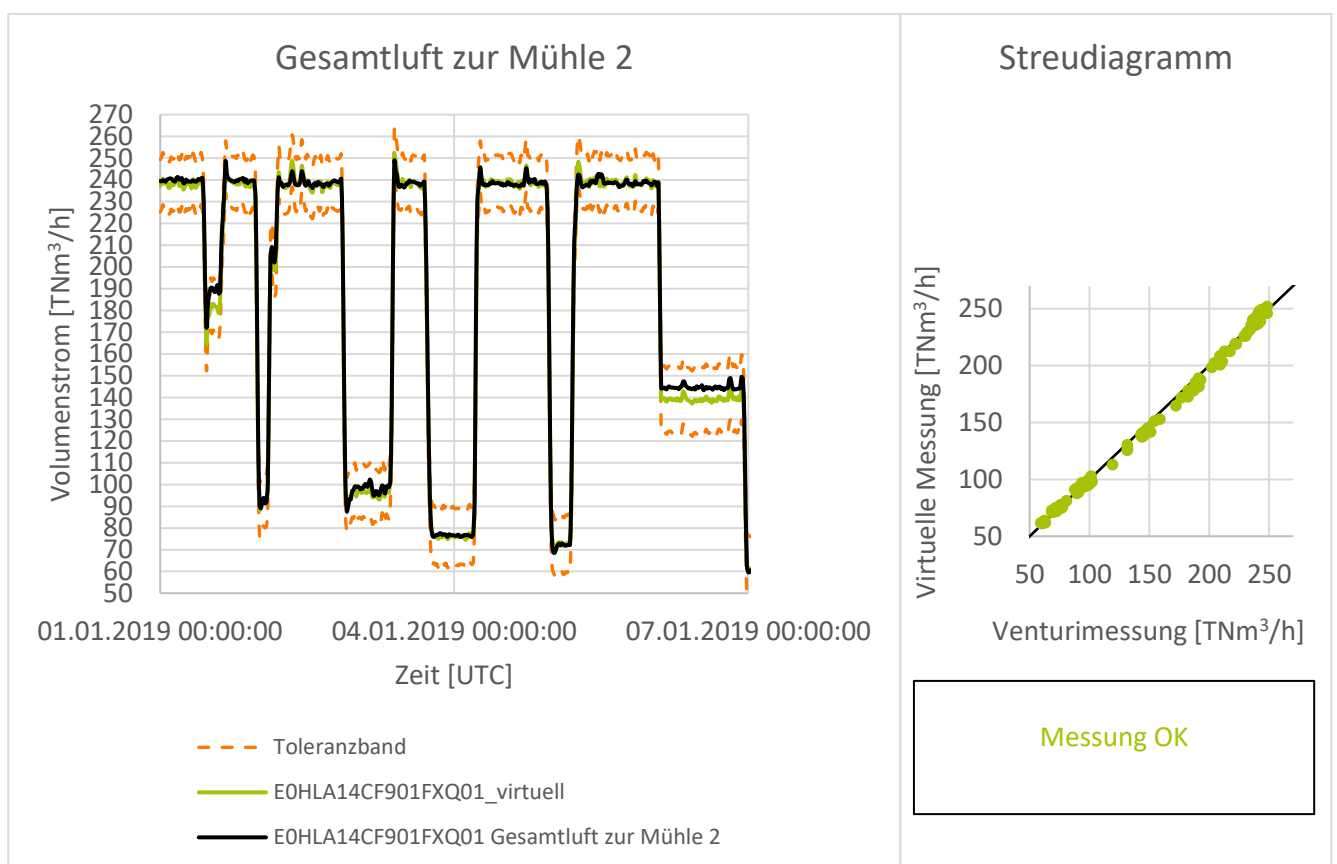


Abbildung 7: Validierungszeitraum von EUSOFT AIR für Block E, KW Neurath, zeitlicher Signalverlauf (links) und Streudiagramm (rechts)

### 3.1 FRÜHZEITIGE FEHLERERKENNUNG DER DRUCKMESSUNGEN

Es werden mehrere Druckverlustsignale zwischen Luftvorwärmer und Dampferzeuger zur Fehlererkennung ausgewertet. Dies impliziert eine über die reine Fehlererkennung der Heißluft-Venturi-Messungen hinausgehende Fehlerdiagnosemöglichkeit hinsichtlich der Druckmessungen.

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

In folgendem Beispiel (Abbildung 8) konnte eine Fehlfunktion einer Druckmessung diagnostiziert werden, welche sonst nicht automatisch identifiziert worden wären. Die Meldung über die Wartungssituation erfolgt indirekt über die Rückkopplung der fehlerhaften Druckmessungen auf die virtuellen Messwerte der Luftvolumenströme. Die Druckmessungen liegen nach der durchgeführten Wartung (14.12.2018) wieder im Sollbereich.

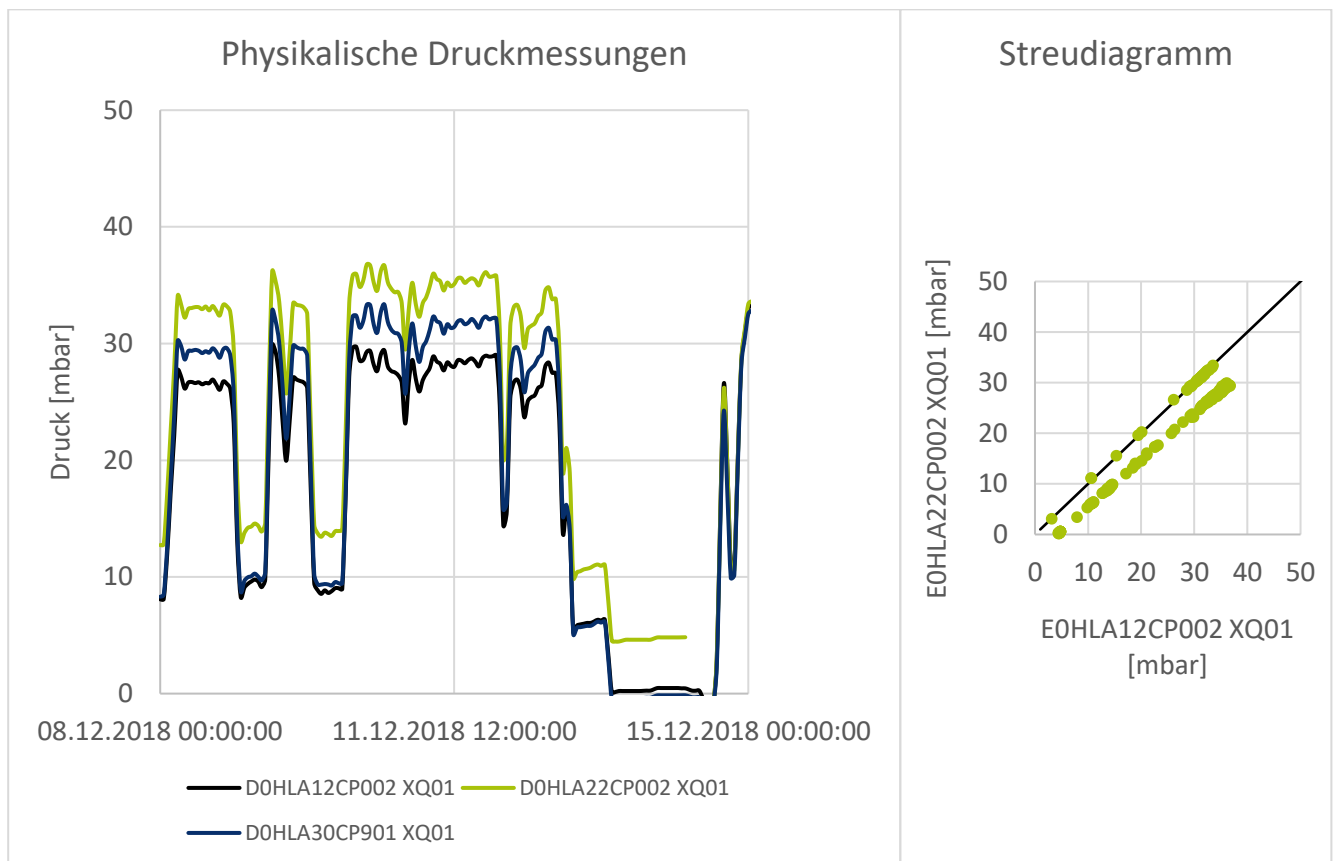


Abbildung 8: Abweichung zwischen Drucksignalen verursachen Meldungen der Fehlererkennung

### 3.2 FRÜHZEITIGE FEHLERERKENNUNG DER HEIßLUFT-VENTURI-MESSUNG

Im Fallbeispiel in Abbildung 9 wurde eine Anomalie der Heißluft-Venturi-Messungen detektiert und diagnostiziert. Die Abweichung trat außerhalb des regulären Wartungszyklus auf. Die Detektion ermöglicht ein frühzeitiges Anstoßen der Instandhaltungsmaßnahmen, welche einen negativen Einfluss auf den Verbrennungsprozess vermeiden. Die Kombination aus frühzeitiger Detektion und richtiger Priorisierung führen zu einem nachhaltigen Ressourcenumgang und einer optimalen Arbeitsplanung. Nach erfolgter Wartung liegt das Messergebnis wieder im Normalbereich.

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

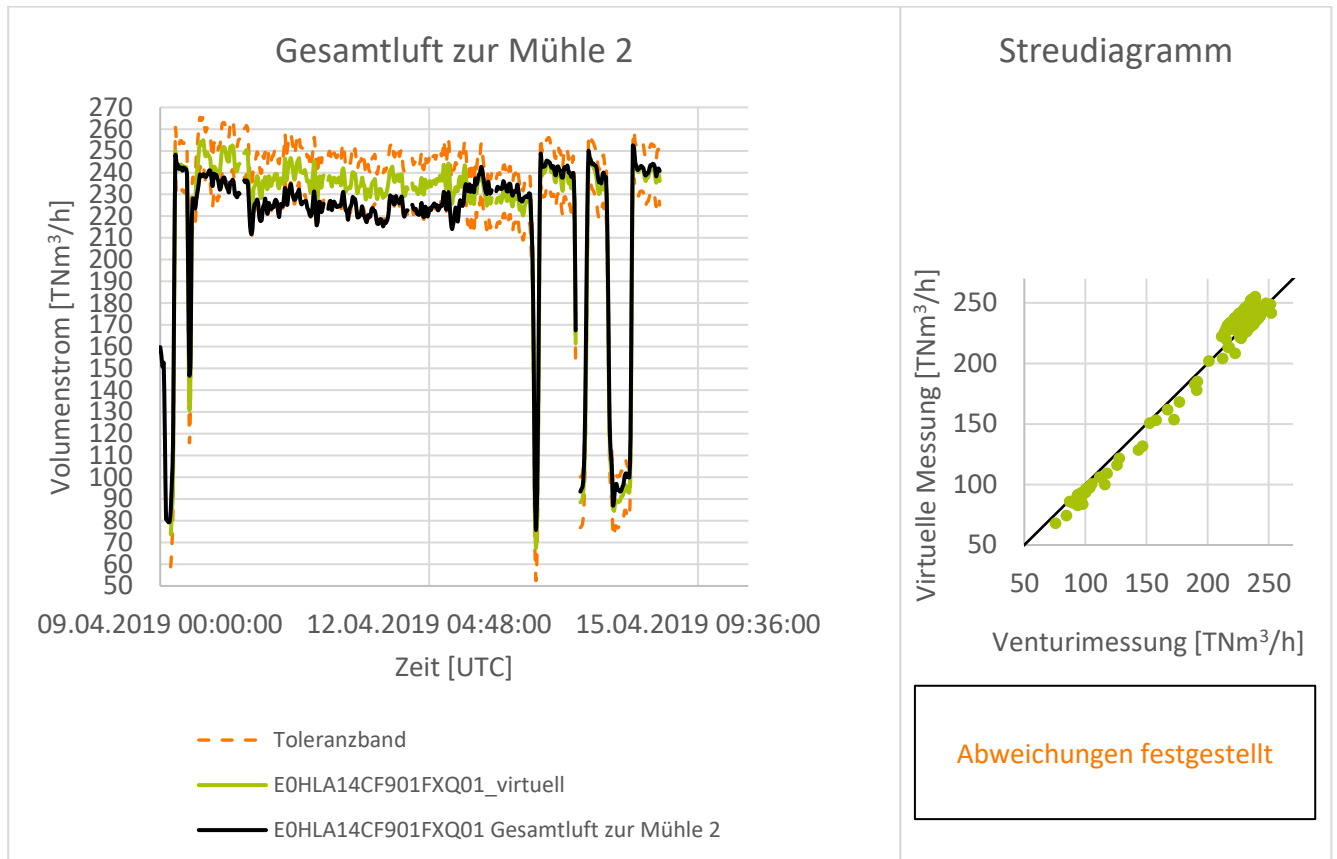


Abbildung 9: Wartungsnotwendigkeit bei Vollast

Die Charakteristik des Merkmals „Signalgüte“ nach der oben gegebenen Definition sorgt dafür, dass ohne Wartung/Reinigung ein Übergang des Symptoms „Abweichungen festgestellt“ nach „Wartung notwendig“ erfolgt. Nach Reinigung wird der Status „Messung OK“ wieder erreicht. Dies zeigt die folgende Abbildung 10, in welcher verschiedene Reports zusammengestellt wurden. Der Signalstatus kann über die zugehörige kontinuierlich ermittelte Signalgüte in Echtzeit wiedergegeben werden

## Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung

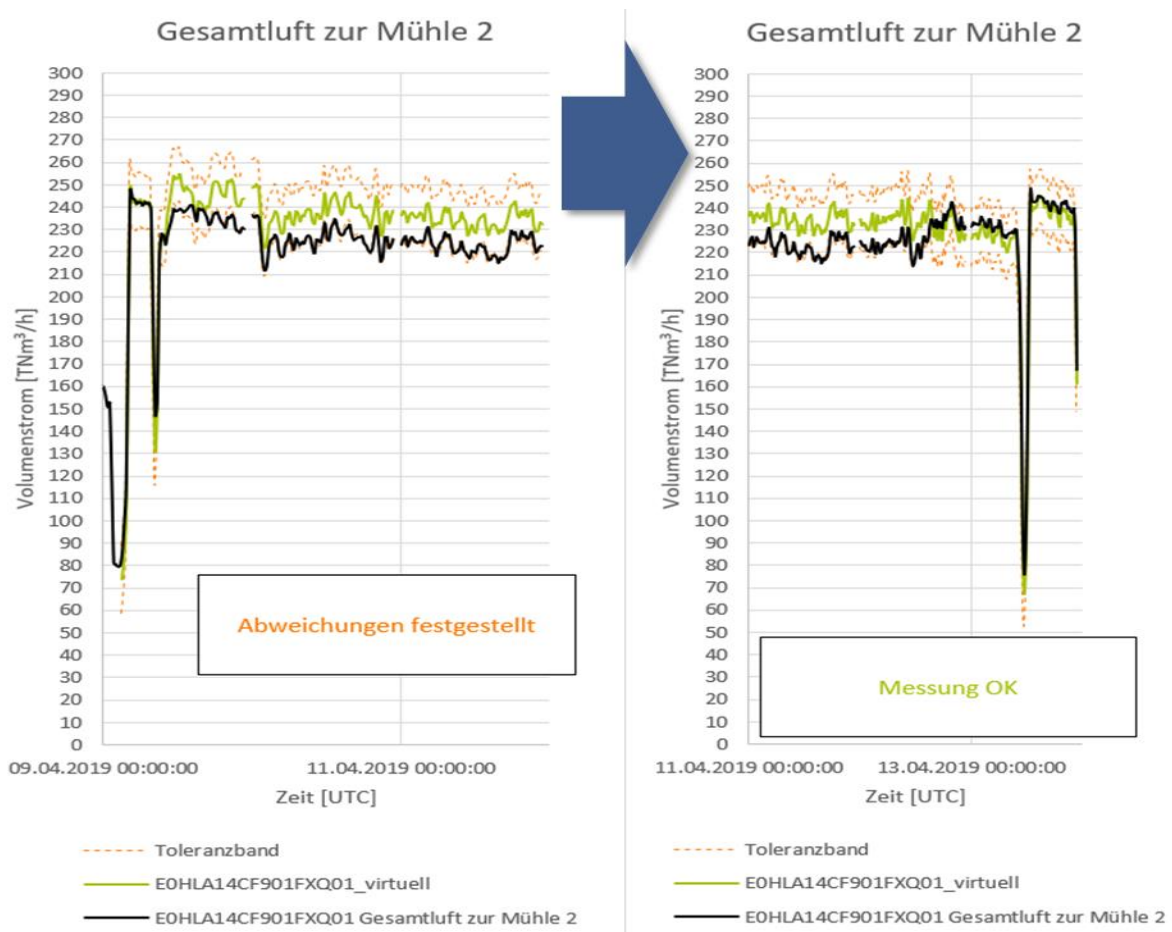


Abbildung 10: Wartungsnotwendigkeit und Normalsituation nach Wartung bei Volllast

## 4 FAZIT

Insgesamt wurde die Nachhaltigkeitsanforderung des Pilotprojekts für die zustandsorientierte Wartung von Heißluft Venturi-Messungen an den Blöcken D & E im Kraftwerk Neurath erfüllt. Ohne signifikante Einflüsse und Veränderungen in Bezug auf den etablierten Betriebsablauf, konnte eine Optimierung des Ressourceneinsatzes erzielt werden. Die Berichte zum Zustand der Luftmengenmessungen simplifizieren den Kontrollaufwand der technischen Klärung innerhalb des Kraftwerks.

Gezielte Wartungseinsätze können außerhalb des sonst üblichen regulären Wartungsintervalls, auf Basis von akuten Meldungen des Fehlererkennungssystems, durchgeführt werden. Somit können die Arbeitseinsätze zu dem Zeitpunkt stattfinden, an dem sie die beste Wirkung erzielen. Wartungsnotwendigkeiten werden zukünftig durch die kontinuierliche Systemüberwachung frühzeitig erkannt.

## **5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK**

Die virtuelle Sensorik erzeugt einen Ersatzwert der zentralen Heißluft-Venturi-Messungen am Kraftwerkstandort Neurath an den Blöcken D und E, mittels physikalisch basierten Modellen. Die zustandsorientierte Wartung erfolgt auf Grundlage des Vergleichs zwischen virtuellen und konventionellen Messwerten. Das Messdatenmanagementsystem EU-MDM stellt durch eine automatische Auswertung und des daraus resultierenden Reports eine effiziente Lösung dar, welche heute erfolgreich eingesetzt wird und unabhängig von Anlagenkomponenten und Auswertungsart arbeitet. Die kontinuierliche Güteüberwachung ermöglicht die frühzeitige Erkennung nicht plausibler Zustände und reduziert damit negative Auswirkungen auf das gesamte Anlagenverhalten. Durch die Kombination der virtuellen Sensorik und EU-MDM entstehen keine zusätzlichen Hardwarekosten. Die Instandhaltung konnte erfolgreich optimiert werden.

Die Fehlererkennungsmethode kann durch den modularen, individuell erweiterbaren Aufbau des Systems einfach in weiteren Kraftwerksblöcken und Standorten implementiert und adaptiert werden. Das System ermöglicht zudem den Vergleich von verschiedenen Kraftwerksblöcken und weiteren Anlagenkomponenten. EU-MDM bietet somit das Potential als zentrale Plattform für die verfahrenstechnische Bewertung der Anlagen zu fungieren.

Die offene Struktur von EU-MDM bietet Potential, um weitere gegenwärtig vielfach entwickelte Data-Science Methoden, z.B. aus den umfangreichen Matlab-Toolboxen oder dem Open Source Bereich, kosteneffizient in die Processing-Schritte einzubinden. Hinsichtlich der Optimierung von Wartungsarbeiten wäre der nächste Schritt die Prädiktion von Wartungsnotwendigkeiten und damit die Weiterentwicklung von CBM (condition based maintenance) zu PM (predictive maintenance).

Insbesondere die Langzeitanalyse von in den Daten markierten Symptomen wie „Wartung notwendig“ und „Abweichungen festgestellt“ bietet hierfür Potential.

Die online verfügbaren Zustände der Messungen können genutzt werden, um eine optimale Kombination aus virtueller Sensorik und physikalischer Messung im Kraftwerksbetrieb zu realisieren und dabei die Verfügbarkeit von Regelgrößen zu erhöhen. Immer wenn eine physikalische Messung Anomalien aufweist, könnte innerhalb der PDV (Prozessdatenverarbeitung) beispielsweise auf einen virtualisierten Messwert umgeschaltet werden.

## **6 QUELLENVERZEICHNIS**

[1] Fortuna, L; Graziani, S; Rizzo, A; Xibilia, M.G.: Soft Sensors for Monitoring and Control of Industrial Processes. London: Springer-Verlag, 2007.

## **Nachhaltigkeit am Standort Neurath: Gemeinsame Verwendung von virtueller Sensorik und eines Messdatenmanagement-systems vereinfachen zustandsorientierte Wartung**

- [2] Blondeau, J; Rijmenans, L; Annendijck, J; Heyer, A; Martensen, E; Popin, I; Wijittongruang, A; Holub, L.: Burner air-fuel ratio monitoring in large pulverised-fuel boilers using advanced sensors: case study of a 660 MWe coal-fired power plant. In: Thermal Science and Engineering Progress (2018), 471–481.
- [3] Isermann, R.: Fault-Diagnosis Systems: An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.
- [4] Isermann, R.: Model-based fault-detection and diagnosis – status and applications. In: Annual Reviews in Control 29 (2005), 71–85.
- [5] Wiatros-Motyka, M.: Optimising fuel flow in pulverised coal and biomass fired boilers. In: IEA-CCC (2016).
- [6] EUtech: Big Data Analytics: Data Management and Analysis with EU-MDM™.