

Forschungsbericht BWPLUS

HYBRIDES UEF-ZENTRUM

von

Lara Waltersmann

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Förderkennzeichen: BWDU20101-20107

Laufzeit: 01.12.2019 – 30.11.2022

Finanziert aus Landesmitteln, die der Landtag Baden-Württemberg beschlossen hat.

November 2023

HYBRIDES UEF-ZENTRUM

Aufbau eines Hybriden Zentrums für Ultraeffizienzfabriken
durch intelligente Verknüpfung von Reallabor und virtuellen
Steuereinheiten

ABSCHLUSSBERICHT



Berichtszeitraum: 01.12.2019 – 30.11.2022

Förderkennzeichen: BWDU20101

Projektleiterin

E-Mail

Lara Waltersmann

Lara.waltersmann@ipa.fraunhofer.de



Universität Stuttgart



Inhalt

1	Einleitung und Projektübersicht.....	4
1.1	Ziele der Ultraeffizienz-Leitstände	5
1.2	Projektstruktur und Zeitplan.....	5
2	Projektkoordination (AP 1).....	7
3	Anforderungsanalyse (AP 2).....	9
3.1	Erstellung eines Lastenhefts (AP 2.1).....	9
3.2	Erstellung eines Pflichtenhefts (AP 2.2).....	9
4	Aufbau der Ultraeffizienz-Leitstände (AP 3).....	10
4.1	Datenaufnahme (AP 3.1).....	10
4.2	Datenübertragung (AP 3.2).....	13
4.3	Datenverarbeitung (AP 3.3).....	14
4.4	Visualisierung (AP 3.4).....	17
5	Entwicklung von Use Cases (AP 4).....	21
5.1	Smart Maintenance (AP 4.1).....	21
5.2	Ultraefficient Plant Simulation (AP 4.2).....	26
5.3	Intelligente Druckluft (AP 4.3).....	29
5.4	Gleichstromfabrik (AP 4.4).....	33
5.5	Additive Fertigung (AP 4.5).....	38
6	Disseminierung (AP 5).....	42
7	Anhang.....	44



1 Einleitung und Projektübersicht

Die voranschreitende Digitalisierung ist ein wesentlicher Stellhebel zur Optimierung von Produktionsprozessen und somit auch zur Erreichung der ambitionierten Ziele der Ultraeffizienzfabrik. Durch die digitale Anbindung des Reallabors des Campus Schwarzwald an ein virtuelles Ultraeffizienz-ServiceCenter (USC) sollen die Ziele der Landesregierung Baden-Württemberg unterstützt werden. Durch den Pilotbetrieb zweier physischer Leitstände am Campus Schwarzwald und am Fraunhofer IPA soll die ökonomisch-ökologische Modernisierung der Wirtschaft vorangetrieben, neue Maßstäbe in der Produktion gesetzt und sowohl für Unternehmen als auch für Studierende der Ingenieursstudiengänge eine Erprobung digitaler Effizienztechnologien ermöglicht werden. Der erstmalige Aufbau des USC als ganzheitliches virtuelles Netzwerk zur Bereitstellung und Visualisierung von Daten mit dem Fokus auf alle fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienzfabrik dient als Blaupause für eine gezielte Digitalisierung von Produktionsprozessen vor dem Hintergrund der Schaffung einer nachhaltigen (ultraeffizienten) Wertschöpfung. Des Weiteren wird die Untersuchung neuer Fabrikkonzepte vorangetrieben und eine Optimierung aller relevanten Unternehmensbereiche hinsichtlich der Handlungsfelder der Ultraeffizienz adressiert. Durch die Umsetzung von beispielhaften Use Cases wird darüber hinaus der Zugang sowohl von Studierenden als auch von Mitarbeitern speziell kleiner und mittelständischen Unternehmen (KMU) zu Forschungseinrichtungen fokussiert und somit der Austausch und die intensive Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschung gestärkt. Durch die Möglichkeit der Bearbeitung einer spezifischen Themenstellung und der Erprobung der digitalen Effizienztechnologien wird darüber hinaus auch eine Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit Baden-Württembergs erreicht. Wegweisende Fortschritte im Bereich der digitalen Effizienztechnologien werden im Zuge des beschriebenen Projektvorhabens durch die digitale Vernetzung und ganzheitlichen Optimierung von realen Produktionsprozessen nach dem Leitbild der Ultraeffizienz erreicht. Hierfür bietet der Campus Schwarzwald beste Voraussetzungen und wird nach Umsetzung der im Rahmen dieses Projektvorhabens beschriebenen Maßnahmen als erstes physisches Zentrum für Ultraeffizienz eine hohe Sichtbarkeit erreichen. Als Vorreiter und Vorbild für Industrieunternehmen wird das Konzept der Ultraeffizienz-Leitstände über die Region hinaus und auch über die Projektlaufzeit hinaus als Best-Practice-Beispiel von hoher Relevanz sein. Die Möglichkeit der Integration weiterer Ultraeffizienzzentren oder einzelner Demonstrationsprojekte über das Ultraeffizienz-ServiceCenter in den physischen Ultraeffizienz-Zentral-Leitstand (UZL) wird über die Projektlaufzeit hinaus grundlegende Beiträge zur Realisierung des Leitbilds einer ultraeffizienten Produktion leisten. Abbildung 1 illustriert den Zusammenhang.

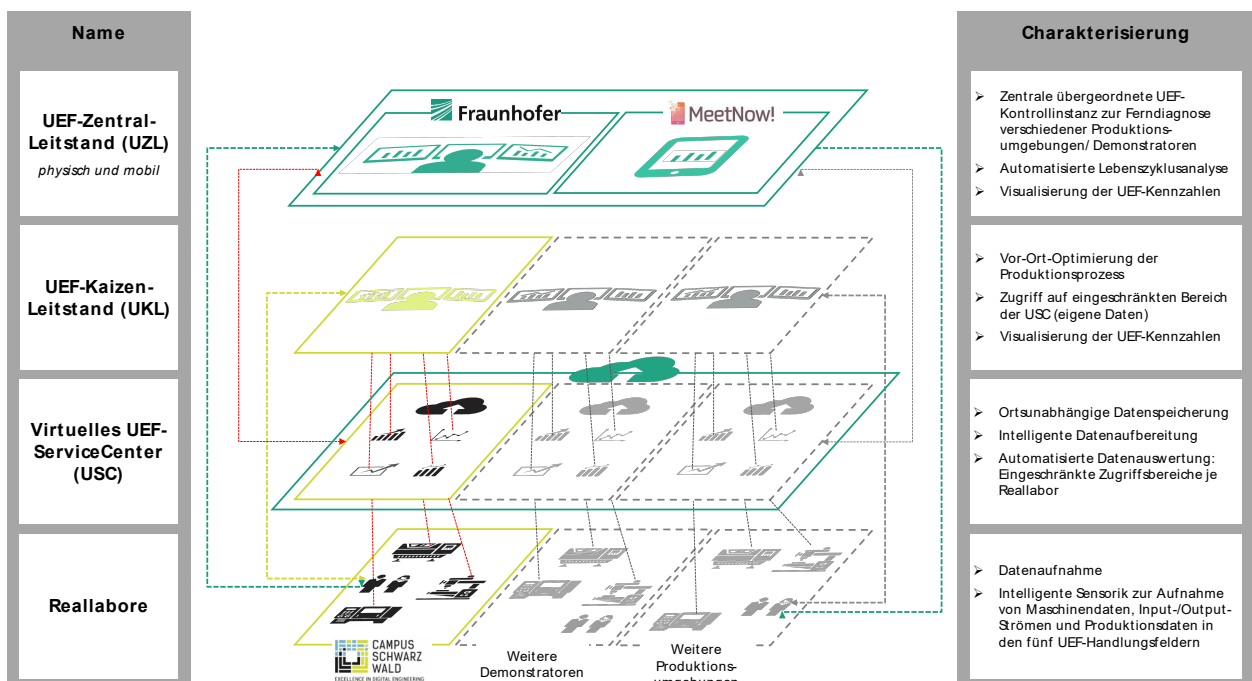


Abbildung 1: Anbindung des Reallabors des Campus Schwarzwald an ein virtuelles Ultraeffizienz-Service-Center (USC)



1.1 Ziele der Ultraeffizienz-Leitstände

Es sollen, wie in Abbildung 1 dargestellt, drei Leitstände aufgebaut werden – der UEF-Kaizen-Leitstand (UKL) und der physische sowie mobile UEF-Zentral-Leitstand (UZL).

Daher werden folgende Ziele für die Ultraeffizienz-Leitstände definiert:

- Anbindung des Reallabors am Campus Schwarzwald sowie der Use Cases
- Möglichkeit der Anbindung weiterer Demonstratoren
- Aufzeigen von Optimierungspotentialen und Handlungsempfehlungen entlang der fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienzfabrik
- Anzeige des aktuellen Status der Produktion zur Veranschaulichung zentraler Aspekte der Ultraeffizienzfabrik
- Einsatz für Schulungszwecke und universitäre Lehre
- Einbindung der Use Cases und Darstellung der zentralen Optimierungspotentiale innerhalb der Handlungsfelder. Folgende Potentiale/Verbesserungen werden in den Use Cases dargestellt:
 - o Smart Maintenance: Steigerung der Effizienz des Produktionssystems nach den Maßgaben der Ultraeffizienzfabrik durch Integration aktueller IoT-Ansätze mit vorhandenen Support-Infrastrukturen des Maschinenherstellers
 - o Ultraefficient Plant Simulation: Ermittlung der Ultraeffizienz-Potentiale mittels Kaizenmethoden und Abbildung in einer Fabriksimulation
 - o Intelligente Druckluft: Steigerung der Ultraeffizienz im Bereich der Druckluft durch eine Entwicklung von neuen digitalen Services
 - o Gleichspannungsfabrik: Ermittlung der Effizienzpotentiale einer Gleichstromenergieversorgung in der Produktion durch Entwicklung einer Bewertungsmethode und des dazu notwendigen Messgeräts
 - o Additive Fertigung: Ermittlung von Ultraeffizienzpotenzialen bei der Nutzung von additiven Fertigungsverfahren und Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen zur Einführung von additiven Verfahren

Gemäß diesen Zielen der UEF-Leitstände ist eine aktive Steuerung und/oder Regelung von Maschinen und Anlagen explizit nicht vorgesehen.

1.2 Projektstruktur und Zeitplan

Abbildung 2 zeigt die Projektpartner*innen und die jeweilige Beteiligung in den Use Cases und/oder am Aufbau der UEF-Leitstände.



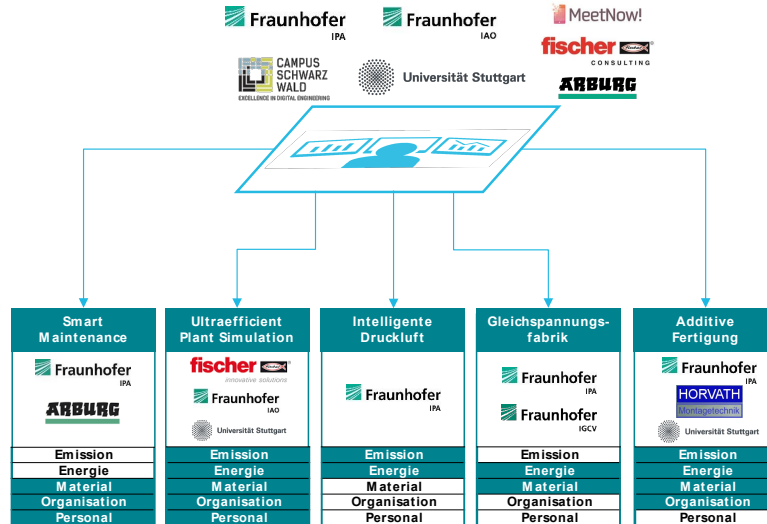


Abbildung 2: Projektstruktur inkl. Projektpartner

In der Abbildung 3 sind die Arbeitspakete des Projekts zu finden, welche im Folgenden detaillierter beschrieben werden. Hierbei wird jeweils auf die Ziele, das Vorgehen und den aktuellen Stand der Arbeitspakete eingegangen.

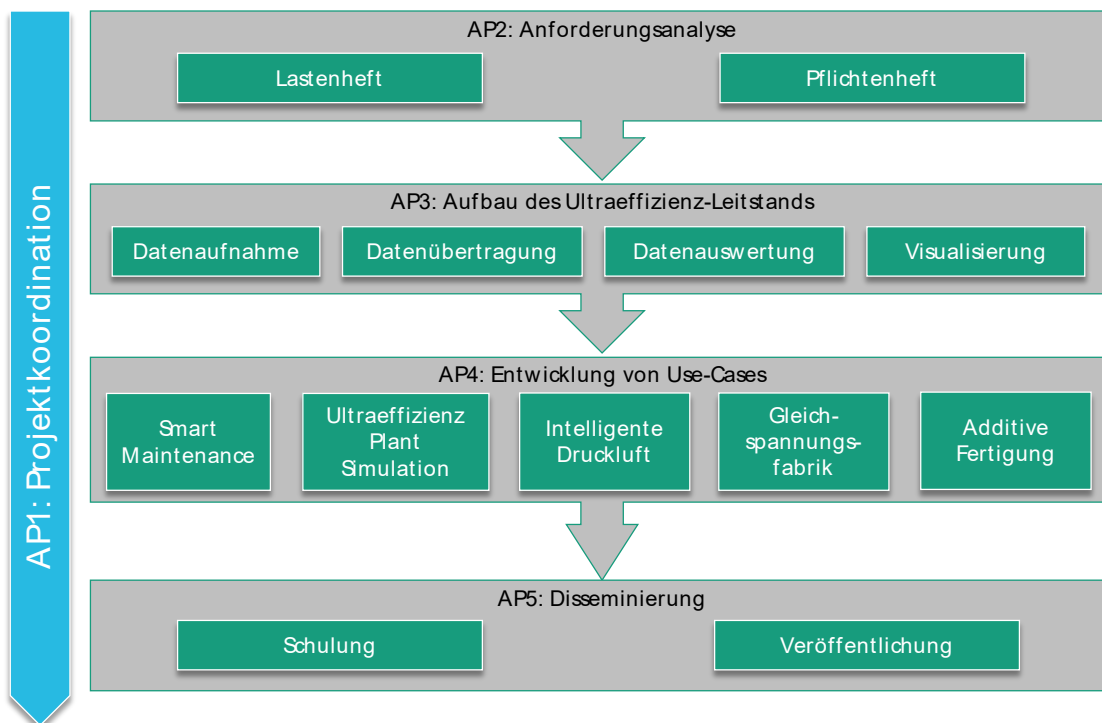


Abbildung 3: Arbeitspaketstruktur

Abbildung 4 zeigt den Projektplan inklusive der Verschiebung von Meilensteinen um 4 Monate aufgrund der Covid19-Situation. Im Anhang findet sich ein detaillierterer Projektplan, der zusätzlich die einzelnen Unterarbeitspakete anzeigt.



Kurzbeschreibung	Verantwortung	2020											2021											2022											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
		5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
AP 1 Projektkoordination	IPA	◆					◆		◆		◆				◆		◆		◆		◆				◆		◆		◆		◆		◆		◆
AP 2 Anforderungsanalyse	IPA																																		
AP 2.1 Erstellung eines Lastenhefts	CSW																																		
AP 2.2 Erstellung eines Pflichtenhefts	CSW																																		
AP 3 Aufbau UCL, UZL, UKL	IPA																																		
AP 3.1 Datenaufnahme	CSW																																		
AP 3.2 Datenübertragung	IPA																																		
AP 3.3 Datenverarbeitung	IPA																																		
AP 3.4 Visualisierung	CSW																																		
AP 4 Use Cases	IPA																																		
AP 4.1 Smart Maintenance	IPA																																		
AP 4.2 Ultraefficient Plant Simulation	fischer																																		
AP 4.3 Intelligente Druckluft	IPA																																		
AP 4.4 Gleichstromfabrik	IPA																																		
AP 4.5 Additive Fertigung	IAO																																		
AP 5 Disseminierung	CSW																																		

Abbildung 4: Projektplan (grün: Verschiebungen im Projektplan, im Lenkungskreis im Februar 2022 abgestimmt)



2 Projektkoordination (AP 1)

Ziele

Das Ziel des AP 1 ist die durchgängige Projektkoordination mit Überwachung und Kontrolle des Projektplans und der projektbezogenen Tätigkeiten, Meilensteine und Ergebnisse. Darüber hinaus sind die intensive Zusammenarbeit der beteiligten Projektpartner sowie die Verbreitung der Ergebnisse durch die Organisation von Veranstaltungen und zwei Fachtagungen sicherzustellen.

Vorgehen

Zur Erreichung der Ziele des AP 1 wurden Regelmeetings, Lenkungskreistreffen und Gesamtprojekttreffen definiert und terminiert sowie Veröffentlichungen und Vorträge in wissenschaftlichen sowie industrienahen Zeitschriften und Veranstaltungen angestrebt.

Ergebnisse

Insgesamt wurden sechs Lenkungskreis- sowie zwölf Gesamtprojekttreffen veranstaltet. Der Termin für das letzte Gesamtprojekttreffen wurde als gemeinsame Abschlussveranstaltung mit dem Schwesterprojekt Ultraeffizienz4Industriegebiete genutzt. Hierbei wurden auch externe Interessierte eingeladen und ein Ausblick auf die weiteren Aktivitäten im Bereich Ultraeffizienzfabrik gegeben. Detailliertere Informationen zur Abschlussveranstaltung können dem Abschnitt Disseminierung (AP 5) entnommen werden. Aufgrund der Covid19-Situation konnte nur eine Fachtagung in Form der Abschlussveranstaltung durchgeführt werden. Weitere administrative Aufgaben waren die Erstellung von Berichten zum jährlichen Jahresabschluss und Dokumentation der Fortschritte, die dem Projektträger und dem Fördermittelgeber bereitgestellt wurden.



3 Anforderungsanalyse (AP 2)

3.1 Erstellung eines Lastenhefts (AP 2.1)

Ziele

Das Ziel des AP 2.1 ist die Konzeption eines Lastenhefts für den Aufbau und Betrieb der Ultraeffizienz-Leitstände. Hierbei sollen Anforderungen für die Durchführung der Use Cases mit einfließen. Um die Erarbeitung optimaler Lösungen zu fördern, soll das Lastenheft so allgemein wie möglich und einschränkend wie nötig formuliert sein. Generell sollen neben Zielbestimmungen zum gewünschten Ergebnis, die erforderlichen Funktionen, relevante technische Daten und Qualitätsanforderungen formuliert werden. Gemäß gängiger Vorgehensweise werden die Anforderungen dabei in MUSS- und WUNSCH-Kriterien unterteilt. Da dieses Lastenheft nicht zur Ausschreibung der Anforderungen, sondern nur zur internen Darstellung des Vorhabens herangezogen wird, werden im Lastenheft keine vertraglichen Rahmenbedingungen o.ä. niedergeschrieben. Das Lastenheft wird im weiteren Verlauf zur Formulierung eines Pflichtenhefts herangezogen.

Vorgehen

Die Ergebnisse dieses Arbeitspakets wurden in Form eines Lastenhefts zusammengefasst und allen Projektpartner*innen zur Kommentierung zur Verfügung gestellt. Nach dieser Kommentierungsphase wurden die Rückmeldungen eingearbeitet und das finale Dokument als Grundlage für die weiteren Arbeiten verwendet.

Aktueller Stand

Das Lastenheft befindet sich im Anhang.

3.2 Erstellung eines Pflichtenhefts (AP 2.2)

Ziele

Das Ziel des AP 2.2 ist die Konzeption eines Pflichtenhefts für den Aufbau und Betrieb der Ultraeffizienz-Leitstände. Als Grundlage hierfür dienen die im Lastenheft (AP 2.1) dargestellten Anforderungen. Diese werden im Pflichtenheft konkretisiert und detailliert. Dabei sollen Realisierungsvorgaben für die Anforderungen definiert und Verantwortlichkeiten geklärt werden. Ziel ist die Beschreibung eines Soll-Konzepts, das die Anforderungen aus dem Lastenheft erfüllt. Das Pflichtenheft soll Arbeitspaket 3 als verpflichtender Wegweiser dienen.

Vorgehen

Wie im Antrag beschrieben wurde im Pflichtenheft die benötigte Hard- und Software (inkl. Sensorik) sowie die Datenformate identifiziert. Zusätzlich wurden Recherchen zu den Schnittstellen, Cloud-Plattformen, LCA-Software und Dashboard-Lösungen durchgeführt. Um ein einheitliches Verständnis zur Funktionsweise und zum Aufbau der UEF-Leitstände zu schaffen, fand außerdem im Juli 2020 ein Sprint mit den Projektteilnehmer*innen aus AP 2 statt. Die Ergebnisse dieses Arbeitspakets wurden anschließend in Form eines Pflichtenhefts zusammengefasst und allen Projektpartner*innen zur Kommentierung zur Verfügung gestellt. Nach dieser Kommentierungsphase wurden die Rückmeldungen eingearbeitet und das finale Dokument als Grundlage für den Aufbau der UEF-Leitstände verwendet.

Ergebnisse

Das Pflichtenheft befindet sich im Anhang.



4 Aufbau der Ultraeffizienz-Leitstände (AP 3)

4.1 Datenaufnahme (AP 3.1)

Ziele

Das Ziel des AP 3.1 ist die automatisierte Aufnahme von relevanten Maschinen-, Produktions- und Organisationsdaten in der Laborhalle des Campus Schwarzwald. Der somit generierte umfangreiche Datensatz bildet die Grundlage für die Auswertungs-Tools, die vom UZL und UKL aus bedient werden können. Hierfür soll als notwendig identifizierte Hard- und Software in die Produktionsinfrastruktur des Reallabors am Campus Schwarzwald eingebunden werden. Neben der Installation ergänzender Sensorik zur Aufnahme von spezifischen Datensätzen bzgl. Energie- & Materialverbrauch sowie von weiteren Prozessparametern sollen vorhandene Maschinendaten automatisiert aus der Speicherprogrammierbaren Steuerung der einzelnen Maschinen erfasst werden.

Vorgehen

Zur Identifikation der möglichen ausgebenen Maschinendaten der am Reallabor des Campus Schwarzwald vorhandenen Maschinen und Anlagen wurde im Rahmen der Lasten- und Pflichtenhefterstellung (siehe Pflichtenheft, Kapitel 3.1. und 3.2) bei den Unternehmen über ein Formular abgefragt, welche Daten aus den jeweiligen Maschinen ausgegeben und nutzbar gemacht werden können. Im Umkehrschluss konnte identifiziert werden, welche zusätzlichen Sensoren (z.B. Sensor im Druckluftnetz zur Messung von Volumenstrom, Medientemperatur und Gesamtverbrauch) zur Erfüllung der vorher definierten Kriterien anhand des Ultraeffizienzleitbilds benötigt werden.

Die so identifizierten Sensoren und Edge-Devices wurden recherchiert, bestellt und anschließend an den entsprechenden Maschinen eingebaut und mithilfe standardisierter Schnittstellen informationstechnisch angebunden.

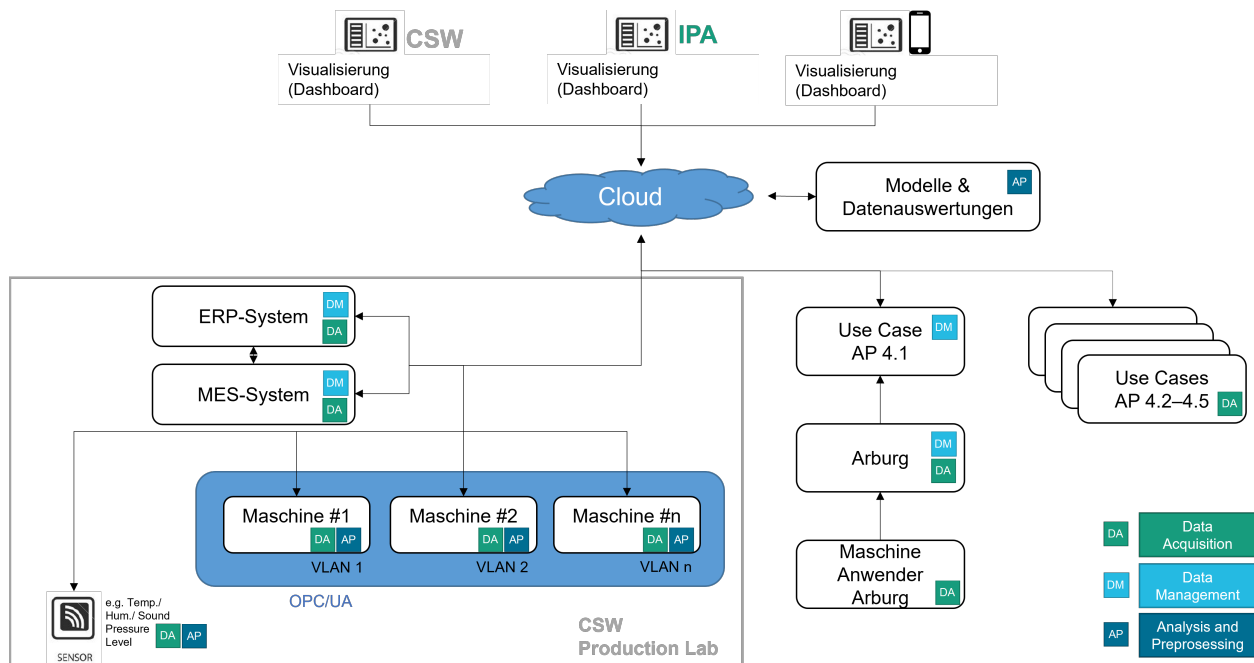


Abbildung 5: OT/IT-Architektur am Campus Schwarzwald und der Use Cases (Quelle: Fraunhofer IPA, Campus Schwarzwald)

Um Erfahrungswerte hinsichtlich der Verarbeitung und Übertragung von Maschinendaten über verschiedenen industrielle Kommunikationsprotolle (OPC/UA, IO-Link, MQTT) zu sammeln, wurde im ersten Schritt eine Pilotmaschine (Blisterverpackungsmaschine des Unternehmens KOCH Pac-Systeme GmbH) am Campus Schwarzwald mit zusätzlicher Sensorik ausgestattet, angebunden und die Maschinendaten über das Protokoll OPC/UA ausgelesen. Im Anschluss folgte die Anbindung der weiteren Maschinen, sowie der Umweltsensorik aus dem Production Lab Campus Schwarzwald.

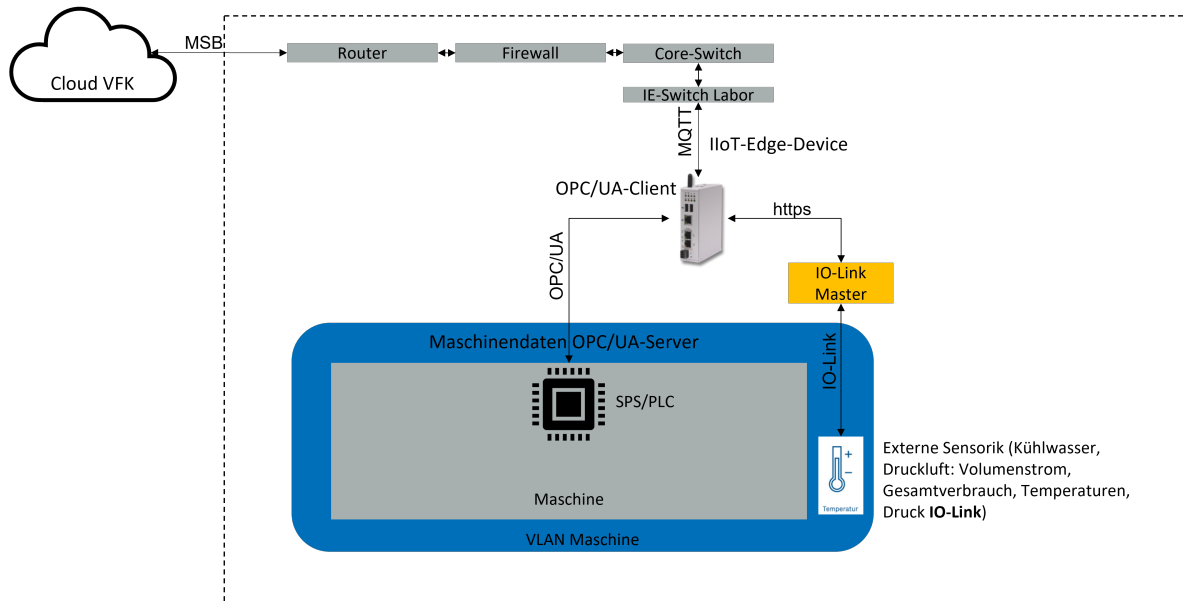


Abbildung 6: IT/OT-Architektur am Campus Schwarzwald – exemplarische Darstellung der Anbindung einer Maschine (Maschine als OPC/UA-Server)

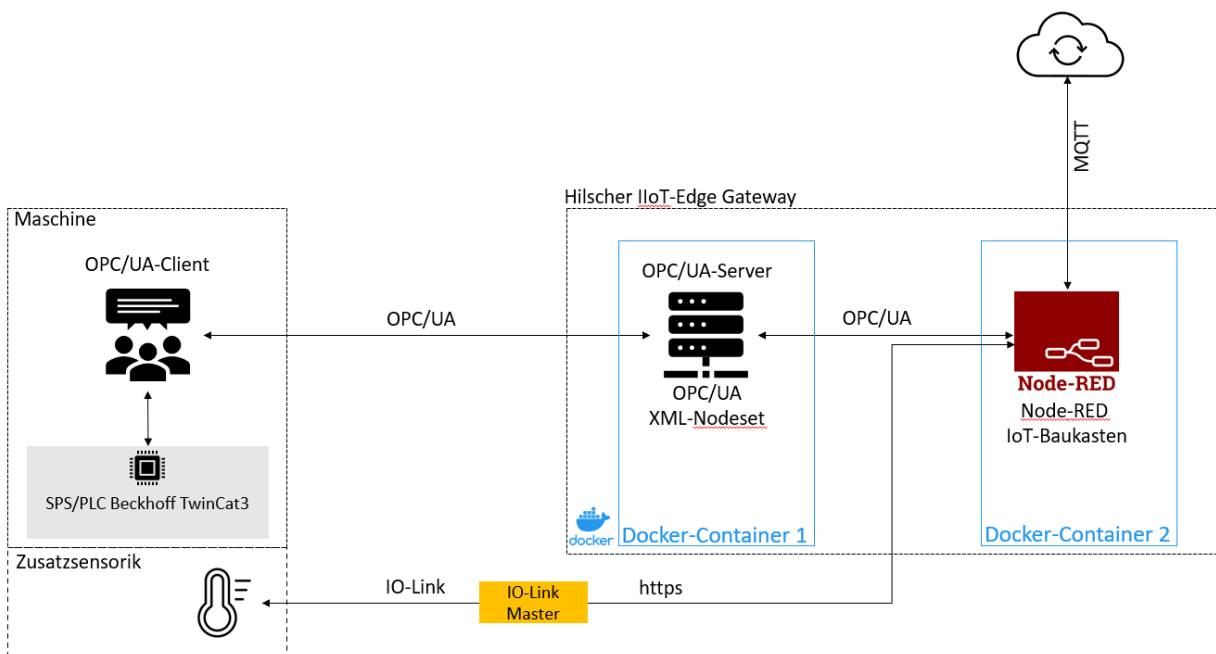


Abbildung 7: IT/OT-Architektur am Campus Schwarzwald – exemplarische Darstellung Datenwege, Kommunikationsprotokolle, Edge-Device (Maschine als OPC/UA-Client)

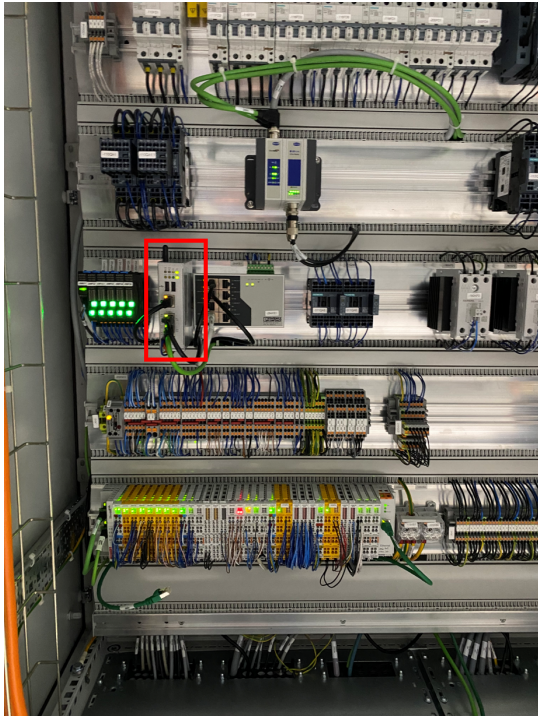


Abbildung 8: Eingebautes Edge-Device im Schaltschrank einer Maschine am Campus Schwarzwald



Abbildung 9: Exemplarische Darstellung der applizierten Zusatzsensoren am Campus Schwarzwald

Ergebnisse

Durch die erfolgreich umgesetzte Datenaufnahme wurde eine Datenbasis mit Bezug zu den fünf Handlungsfeldern der Ultraeffizienz geschaffen, welche im gesamten Projektverlauf und zukünftig genutzt werden. Die Daten werden automatisiert über Edge-Devices an die Forschungs-Cloud „Virtual Fort Knox“ übertragen (Machine-to-Machine-Kommunikation).

4.2 Datenübertragung (AP 3.2)

Ziele

Das Ziel des AP 3.2 ist die gesicherte Sammlung der Produktions- und Prozessdaten über eine Cloud-Anwendung. Hierfür ist die Anbindung der Maschinen sowie der ergänzenden Sensorik an das Netzwerk des Campus Schwarzwald notwendig. Über die Cloud-Anwendung VFK, welche im Pflichtenheft ausgewählt wurde, wird der Zugriff auf die gesammelten Datensätze von externen Zugriffspunkten ermöglicht.

Vorgehen

Wie im Pflichtenheft definiert wurde (siehe Pflichtenheft, Kapitel 3.3), werden die Daten grundsätzlich über die ausgewählte Cloud-Plattform VFK ausgetauscht. Aus dem CSW werden Sensor- und Maschinendaten, sowie Bilddaten, Events, Auftrags- und Betriebsdaten an die Cloud gesendet. An den Leitständen ist es möglich, ausgewählte Messwerte für eine begrenzte Zeit mit erhöhter Abtastrate zu erfassen (boost). Die entsprechenden Trigger werden von den Leitständen in die Cloud übertragen, auf Seiten des Reallabors überwachen die zuständigen Edge-Devices die entsprechenden Statuswerte in der Cloud und reagieren entsprechend.

Die IIoT-Devices und die Edge-Devices werden entweder per LAN oder per WLAN mit Gateways oder Routern mit entsprechender Internet-Connectivity verbunden. Es ist dem jeweiligen Standort überlassen, ob aus Sicherheitsgründen die beteiligten Kommunikationspartner in Virtual Local Area Networks (VLANs) eingebunden werden. Die Übertragung der Daten erfolgt grundsätzlich verschlüsselt nach TLS 1.3.

Ergebnisse

Zur Umsetzung des Leitstands wurde die Cloudplattform VFK aufgesetzt. Auf der zur Verfügung stehenden Server-Plattform des Fraunhofer IPA ist die aktuelle Version (1.6.1) des VFK-Cloud-Systems in der Mikroservices-Implementierung installiert und getestet worden. Es wurden umfangreiche Tests hinsichtlich Funktion, Belastbarkeit und Sicherheit des Systems durchgeführt. Nach Abschluss der Tests wurde das System auf eine zweite Server-Hardware repliziert.

Während der Pflichtenhefterstellung wurde festgelegt, dass das Frontend von UZL und UKL im Wesentlichen durch Funktionalitäten des grafana-Systems realisiert wird. Dazu wurde das VFK-System um einen entsprechenden Container ergänzt und der zugehörige Source-Code ins Fraunhofer-gitlab-System aufgenommen. Durch die Integration des Frontends in die Mikroservices des VFK können notwendige Datenzugriffe größtenteils ohne jeglichen Overhead durchgeführt werden. Siehe dazu Abbildung 10.

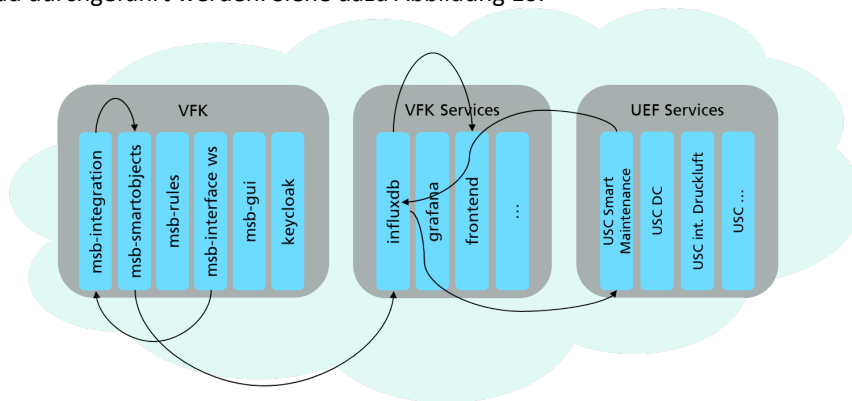


Abbildung 10 - Kommunikationspfade in der UEF cloud

Die Kernbestandteile der VFK Microservices sind in drei Gruppen aufgeteilt, die separat aktiviert und deaktiviert werden können.

Der Zugang zu den einzelnen Services der UEF Cloud erfolgt über einen Reverse Proxy Server, der für die sichere Kommunikation z.B. zwischen den Edge Devices des CSW und den Cloud Services zuständig ist (Abbildung 11).

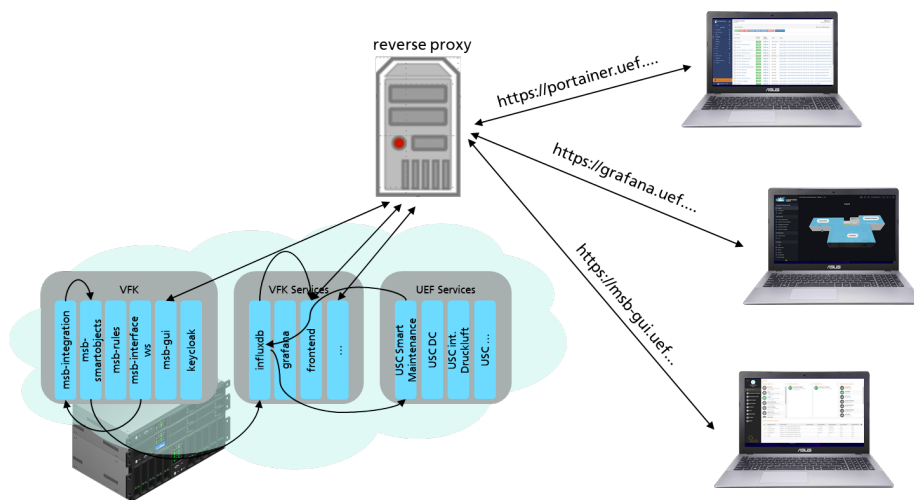


Abbildung 11 - Zugang zu den cloud services mittels eines sicheren reverse proxy systems

Die Anbindung der Maschinen am Campus Schwarzwald erfolgt über Edge-Devices, die über ein VFK-MSB-Modul die Daten über die websocket-Schnittstelle des VFK in den MSB (Manufacturing Service Bus) schreiben. Dort werden die Daten mittels eines Connectors in die Datenbank persistiert. Ein Teil der CSW-Daten (im wesentlichen Umweltdaten wie Temperatur, Druck, relative Luftfeuchtigkeit, CO₂-Gehalt der Luft) werden über einen MQTT-Broker ans Fraunhofer IPA übermittelt, und von dort von einem System Service zum MSB der UEF Cloud weitergeleitet.

Um die Funktionalitäten des Leitstands bereitzustellen, wurden darüber hinaus Container erstellt. Diese Container adressieren zum einen die benötigten Funktionalitäten für die Use Cases, wie beispielsweise die Auswertung der Daten für die Ermittlung von Druckluftleckagen oder die Datenbereitstellung für die Wissensvermittlung. Zum anderen werden die Daten der Anlagen des Campus Schwarzwald automatisch abgeglichen und bezüglich Anomalien ausgewertet. So können passende Handlungsempfehlungen für die entsprechenden Kennzahlen automatisch angezeigt werden.

4.3 Datenverarbeitung (AP 3.3)

Ziele

Das Ziel des AP 3.3 ist der physische Aufbau der zwei interkonnektiven Leitstände am Campus Schwarzwald sowie am Fraunhofer IPA sowie die Nutzung der durch AP 3.1 und AP 3.2 generierten und bereitgestellten Daten hinsichtlich einer Auswertung in den fünf Handlungsfeldern der Ultraeffizienz. Nutzer der UEF-Leitstände sollen befähigt werden durch die zur Verfügung gestellten Auswertungs-Tools Optimierungspotentiale abzuleiten und Handlungsempfehlungen auszusprechen. Hierfür werden über die Cloud verschiedene Services angeboten. Diese Anwendungen sollen eine ganzheitliche Analyse der Produktionsprozesse ermöglichen. Somit soll die analytische Abdeckung aller fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienz und entsprechend der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit gewährleistet werden.

Vorgehen

Für den physischen Aufbau der Leitstände wurde die Hardware bereits im Pflichtenheft unter Kapitel 3.2 definiert. Generell sind zwei Monitoren mit mindestens 27“-Diagonale (für 16:9 oder 16:10 Formate), bei Verwendung von 32:9 oder 32:10 auch ein Monitor, sowie eine Projektion des Bildschirminhalts mithilfe eines Smart Boards vorgesehen. Für Lehr- und Präsentationszwecke werden mind. zwei rollbare 65“-LED Displays, die z.B. auch direkt in das Reallabor an/vor Maschinen platziert werden können. Die Ansteuerung der Monitore erfolgt von einem leistungsfähigen PC mit einer Grafikkarte, die Anschlussmöglichkeiten für drei Monitore via HDMI oder Displayport bietet.

Für das USC wurden insgesamt acht Cloud-Services bzw. „Bausteine“ definiert. Diese Cloud-Services bzw. „Bausteine“ für die Modelle und Datenauswertungen stellen die Funktionalitäten für die Produktionsumgebung sowie die „Intelligenz“ der Ultraeffizienz-Leitstände dar:



- Life Cycle Assessment (LCA)
- Automatisierte Auswertung der Kennzahlen
- Ultraeffizienz-Benchmark
- Arbeitsunterstützung durch Übermittlung von Handlungsanweisungen an einer Spritzgießmaschine mittels intelligenter Beleuchtung
- Kontextinformationen und spezielle Drilldowns für einzelne Kennzahlen
- Handlungsempfehlungen anhand Realdaten CSW
- Handlungsempfehlungen der Use Cases (siehe AP 4.1 bis AP 4.5)

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Services ist im Pflichtenheft in Kapitel 3.1 zu finden. Die Services werden nach Aufsetzen der Cloud-Plattform VFK sukzessiv aufgebaut.

Ergebnisse

Die Hardware ist entsprechend dem Pflichtenheft vorhanden, aufgebaut und einsatzbereit.

Life Cycle Assessment für den CSW

Mithilfe der Daten aus dem Reallabor am Campus Schwarzwald wurde eine Ökobilanzierung eines Mühlespiels erstellt (siehe Abbildung 12). Die Berechnung der Umweltauswirkung des Produktes wurde auf die funktionelle Einheit „Mühle spielen für ein Jahr“ modelliert mit dem Referenzfluss 1 Mühlespiel. Die Berechnung der Umweltdaten wurde mit Hilfe von hinterlegten Materialdatensätzen in Ecoinvent möglichst genau angenähert und wurde mit Hilfe der Software Umberto modelliert.

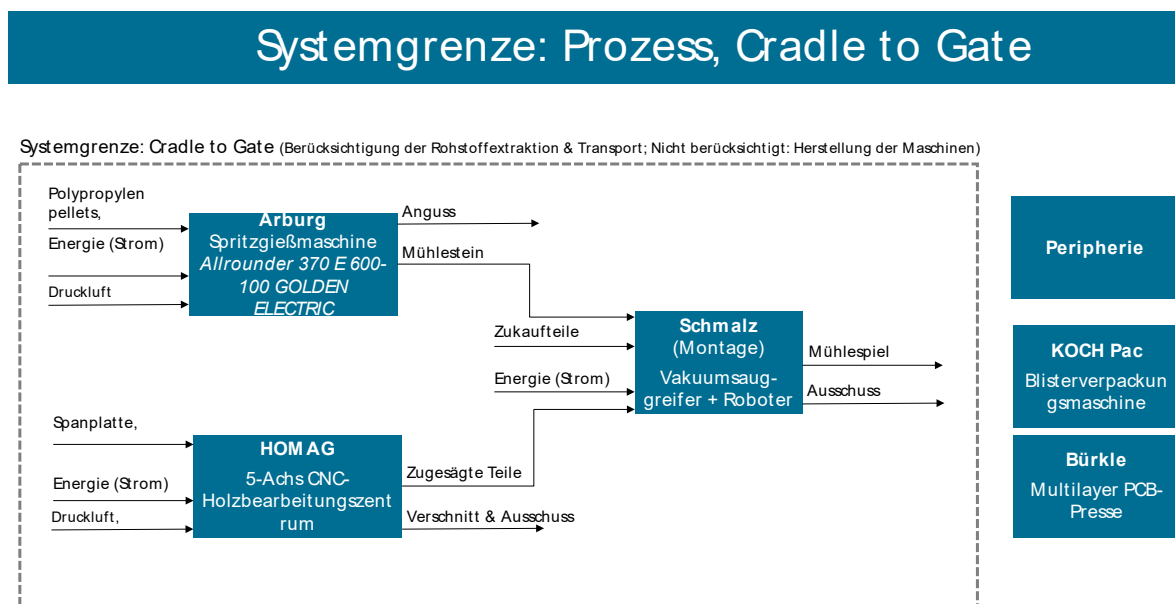


Abbildung 12: Systemgrenze Ökobilanzierung des Mühlespiels

Anschließend wurde die Ökobilanzierung des Mühlespiels in den Leitstand eingepflegt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 13 zu sehen. Auffällig ist, dass ein Großteil der CO₂-Äquivalente durch die benötigte Elektrizität des Mühlespiels und der Vorprodukte verursacht werden.



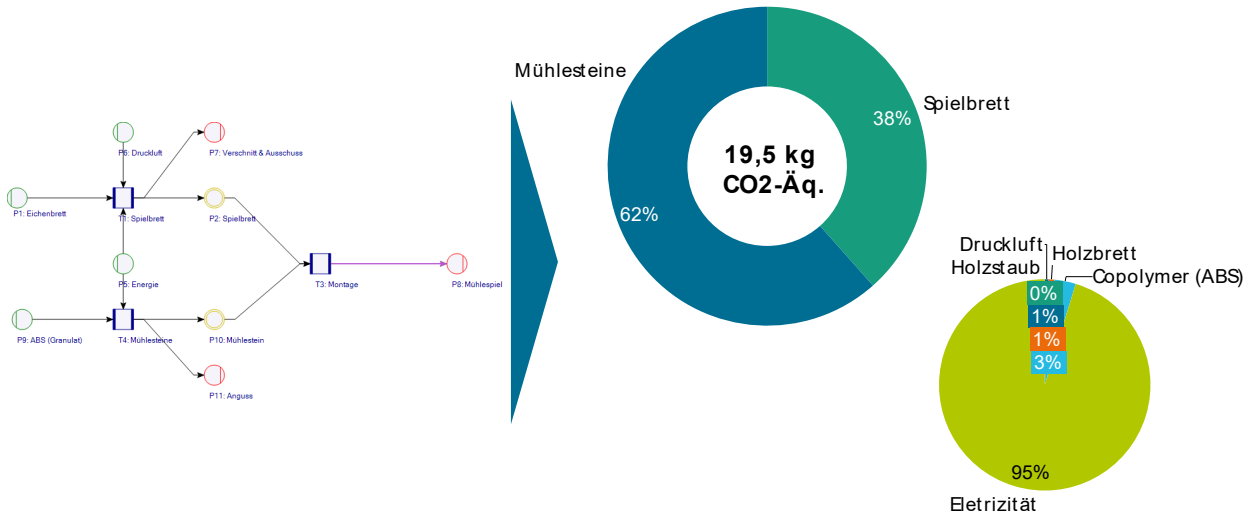


Abbildung 13: Ökobilanzierung des Mühlespiels und Auswertung nach CO₂-Äquivalenten

Automatisierte Auswertung der Kennzahlen und Anzeige von Handlungsempfehlungen anhand der Realdaten am CSW

Die automatisierte Auswertung der Kennzahlen wurde entsprechend der Definition im Pflichtenheft zusammen mit der Ausgabe der Handlungsempfehlungen für die Realdaten des CSW umgesetzt. Bei einer Anomalie in den Daten wird der Ampelstatus auf gelb gesetzt und die entsprechenden Handlungsempfehlungen für die Kennzahl werden angezeigt. Zur Bestimmung der Handlungsempfehlungen wurden für die betrachteten Anlagen des Reallabors auf Grundlage von Störungsbeschreibungen und Bedienungsanleitungen mögliche Fehlermeldungen gesammelt. Für jede dieser Fehlermeldungen bzw. Fehlerursachen wurden die Symptome, welche die Störung an der Anlage hervorrufen, herausgearbeitet. Von diesen Symptomen wurden dann die jeweils beeinflussten Kennzahlen identifiziert. Ob die Kennzahlen durch den jeweiligen Beeinflussungsfaktor steigen oder fallen, wurde ebenfalls bestimmt. Durch diese Aufschlüsselung der „Ursache-Symptom-Beeinflussung“-Kette sind Ausreißer in den Kennzahlen auf ihre Ursache rückführbar. Diese Aufschlüsselung wurde für jede Kennzahl durchgeführt. Ein Beispiel für eine solche Handlungsempfehlung ist in Abbildung 14 zu finden.

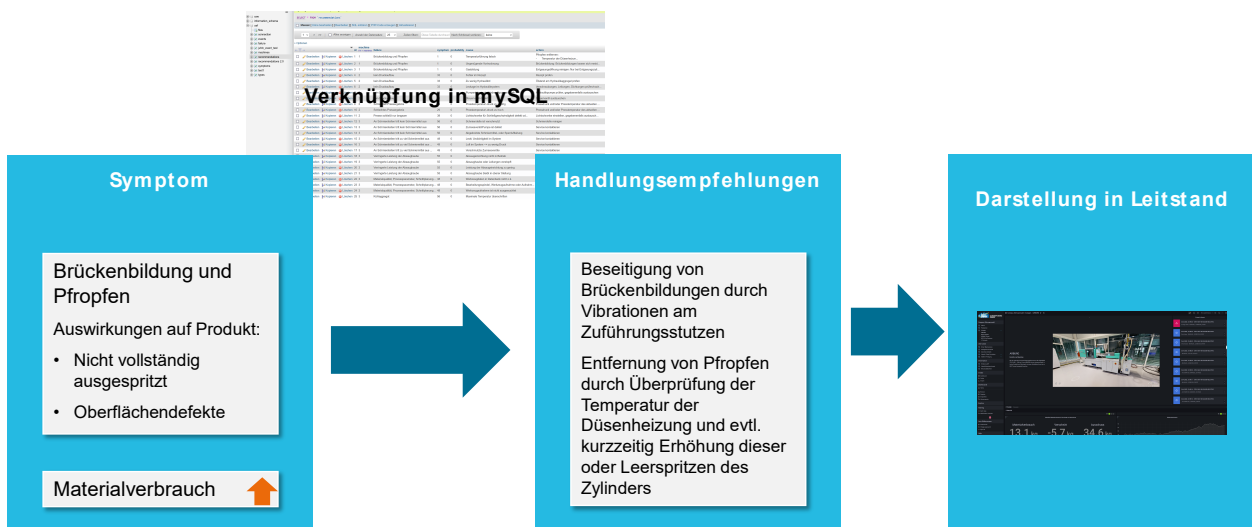


Abbildung 14: Beispiel-Handlungsempfehlung, die im Leitstand angezeigt wird

Ultraeffizienz-Benchmark

Der Ultraeffizienz-Benchmark wurden ebenfalls in den Leitstand eingebunden. Anhand eines Tachos können der Materialverbrauch, Energieverbrauch, die THG-Emissionen und die Abfallmenge in Bezug zum Produkt



„Mühlespiel“ und der Anteil der erneuerbaren Energien mit den Daten anderer Unternehmen verglichen werden. Durch diesen Vergleich können Verbesserungspotentiale erkannt werden.

Arbeitsunterstützung durch Übermittlung von Handlungsanweisungen an einer Spritzgießmaschine mittels intelligenter Beleuchtung

Die Bereitstellung von Handlungsanweisungen unter Zuhilfenahme von intelligenter Beleuchtung zur Unterstützung von Mitarbeitenden wurde im Umfeld einer Spritzgießmaschine erprobt. Um die Handlungsanweisungen mittels Projektionstechnik darzustellen, mussten zunächst die Rahmenbedingungen definiert werden. In einem ersten Schritt wurde hierzu experimentell die minimale Größe des zu projizierenden Textes abgeleitet, so dass dieser aus dem Betrachtungsabstand lesbar erscheint. Um die Texte in das Umfeld der Mitarbeitenden projizieren zu können, musste anschließend eine Detektion der Position von Mitarbeitenden integriert werden. Hierzu wurde ein neuronales Netz implementiert und auf Basis teil-synthetischer Daten trainiert. Zur variablen Verortung von Handlungsempfehlungen wurde zusätzlich ein Algorithmus zur Markerdetektion implementiert. Anschließend wurden die Markerdetektion und Personendetektion online auf dem Kamerasystem des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF erprobt. Als Schnittstelle wurde im nächsten Schritt innerhalb des Erkennungs- und des Projektionsmoduls ein MQTT-Client implementiert. Über das JSON Format können so mittels des MQTT Protokolls Detektionen für weitere Applikationen bereitgestellt werden. Weiter soll über die MQTT Schnittstelle der Empfang von Handlungsempfehlungen ermöglicht werden.

Darauf folgend musste die Rückkopplung der Projektion auf Basis der Kameradetektion implementiert werden. Hierzu muss es dem Kamerasystem möglich sein, das Referenzsystem der Beamerprojektion zu erkennen und die Koordinaten der Detektionen auf Basis der gewonnenen Daten so zu transformieren, dass die über die Kameras erfassten Detektionen an die korrekten Positionen in der Projektion rückgespiegelt werden können. Um dieses Ziel zu erreichen werden die Kameras zum Start des Programms anhand eines Referenzbildes innerhalb der Projektion verortet. In jedem Folgeschritt können anschließend auf Grundlage der so erlangten Transformationsmatrix die Koordinaten gemäß der Projektion transformiert und damit die gewünschten Informationen gezielt übermittelt werden.

4.4 Visualisierung (AP 3.4)

Ziele

Die Visualisierung soll die ausgewerteten Datensätze auf einer interaktiven Benutzeroberfläche darstellen. Dieses sogenannte „Virtual Kaizen-Board“ dient als Koordinationseinheit innerhalb der beiden UEF-Leitstände. Als Schnittstelle zwischen den eingebundenen Software-Anwendungen können hier Auswertungen in den fünf Handlungsfeldern der UEF angefordert und überwacht werden. Eine nutzergerechte Aufbereitung der Daten und Ergebnisse ermöglicht die übersichtliche Kennzeichnung von Unstimmigkeiten und Handlungsempfehlungen zur direkten Weitergabe an den Shopfloor des Campus Schwarzwald.

Vorgehen

Um ein einheitliches Verständnis für die Visualisierung anhand der Anforderungen des Projekts und der Partner zu schaffen, wurden regelmäßige Meetings abgehalten. Durch das Erstellen eines Mockups und Vorstellung auf dem dritten Gesamtprojekt- und zweiten Lenkungskreistreffen konnten alle Partner die bisherigen diskutierten Ideen greifbarer erleben und so besser verstehen. In den Meetings wurde gemeinsam definiert, welche Arten und Darstellungen von Diagrammen für die Visualisierung nötig sind und wie diese aufgebaut ist.

Generell wurde definiert, dass die UEF-Leitstände über drei unterschiedliche Sichten angewählt werden können. Innerhalb dieser Sichten werden die jeweiligen Informationen der vier betrachteten Ebenen (Fabrik, Produktion, Anlage, Komponente) angezeigt. Die Funktionssicht ist dabei die umfassendste Sicht und zeigt auf den Ebenen Fabrik und Produktion jeweils Übersichtsbilder an. Auf den Ebenen Anlage und Komponente sind die spezifischen Diagramme und Widgets zu finden, welche in den folgenden Unterkapiteln definiert werden. Die Use Case Sicht stellt die fünf Use Cases separat vor und visualisiert auf der Ebene Produktion die jeweiligen Use Case-spezifischen Diagramme/Widgets. Der Use Cases Gleichstromfabrik betrachtet zusätzlich die einzelne Anlage, die Use Cases Smart Maintenance und Intelligente Druckluft betrachten auch die einzelne Anlage und Komponente. Im Rahmen der weiteren Detaillierung wurde die Ultraeffizienz-Sicht, die im Pflichtenheft definiert wurde, nicht weiterverfolgt, da dieses die Übersichtlichkeit des UEF-Leitstands stark eingeschränkt hätte.



Die weitere Detaillierung der Visualisierung ist im Pflichtenheft unter Kapitel 3.7 zu finden. Die Visualisierung wird in Form einer progressive WebApp von MeetNow und dem Unterauftragnehmer codeunity implementiert. Die Visualisierung wird über grafana und individuelle Plugins realisiert.

Ergebnisse

Die progressive WebApp mit individuellen Plugins wurde umgesetzt und steht nun als Frontend für die Visualisierung der Daten zur Verfügung. Hierbei kann über die Ebenen der Ultraeffizienzfabrik mit Fabrik, Produktion und Anlage navigiert werden. Zusätzlich wurden die Use Cases sowie allgemeine Informationen zur Ultraeffizienzfabrik, dem Ultraeffizienz-Benchmark und eine Wissensbibliothek in Form von Videos implementiert. Für die Darstellung der Anlagen wurde zusätzlich ein 3D-Rundgang implementiert, der insbesondere bei Fernzugriff auf den Leitstand einen besseren Eindruck über die Gegebenheiten vor Ort ermöglicht. Die Bedienung und der Aufbau des Leitstands wurde auf gitlab und in einem separaten Dokument dokumentiert.

Im Folgenden wird die Struktur der Visualisierung anhand von Screenshots beschrieben.

Auf Fabrikebene ist eine Übersicht des CSW zu sehen (Abbildung 15). Für den UEF-Leitstand ist der Bereich der Produktion relevant.

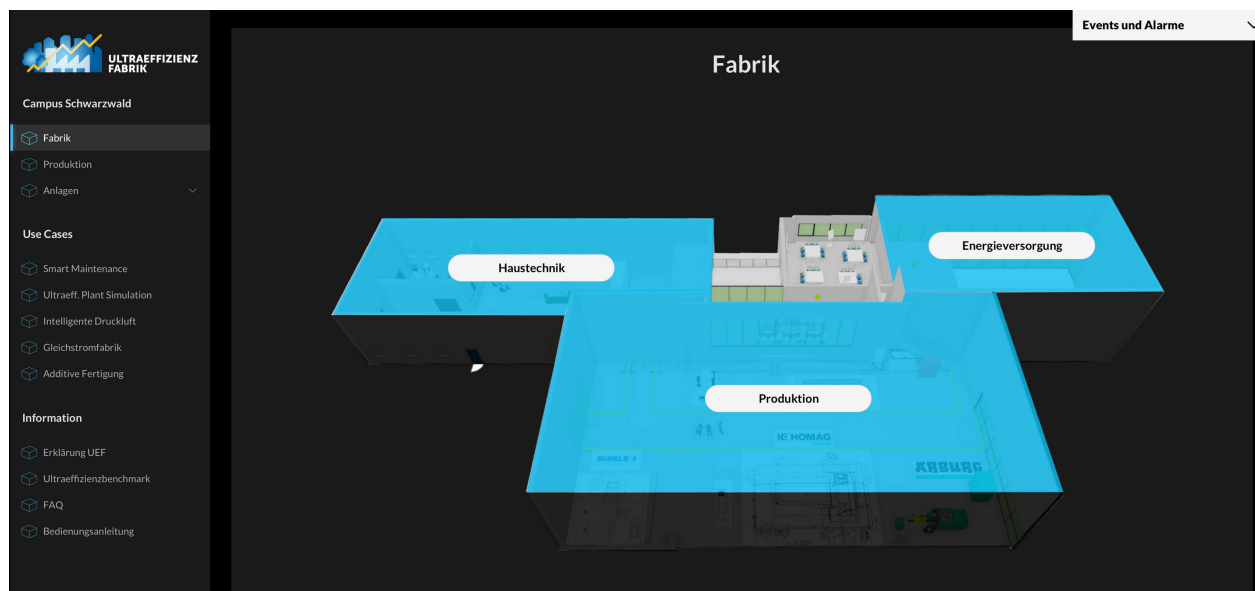


Abbildung 15: Fabrikebene im UEF-Leitstand

Auf Produktionsebene wird eine Übersicht über die Anlagen geben sowie eine Kurzbeschreibung, wenn die Anlage ausgewählt wird (Abbildung 16).



Abbildung 16: Produktionsebene im UEF-Leitstand

Auf Anlagenebene wird die Anlage selbst abgebildet sowie ihre wichtigsten Kennzahlen als Kacheln unterhalb der Anlage angezeigt (Abbildung 17). Zusätzlich werden alle Kennzahlen in den entsprechenden Diagrammen inklusive einer Ampel zur Anzeige, ob Toleranzwerte überschritten wurden, dargestellt. Über diese Ampel können potentielle Handlungsempfehlungen zur Störungsbehebung, Effizienzsteigerung etc. eingeblendet werden. Außerdem werden anlagenspezifische Events und Alarmer in einer Leiste angezeigt.

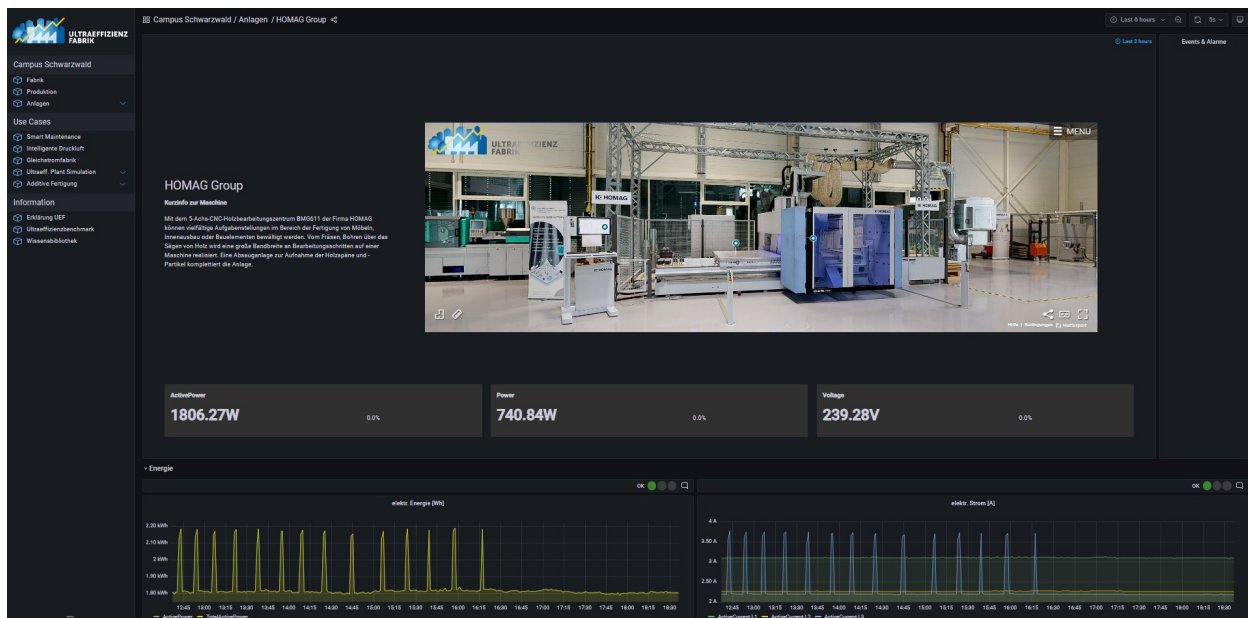


Abbildung 17: Anlagenebene im UEF-Leitstand

Die Use Cases folgen der grundsätzlichen Logik des Aufbaus der Anlagenebene. Es wurden jedoch spezifische Anpassungen vorgenommen, um die Use Cases mit all ihren Funktionen abbilden zu können. So wird beim Use Case Smart Maintenance eine zusätzliche Störungsanzeige sowie kaskadenartige Durchführung durch die Handlungsempfehlungen eingefügt. Der Use Case Ultraefficient Plant Simulation definiert eine Schulung, sodass hier anhand rundenbasierter Inhalte das Ultraeffizienzkonzept vermittelt werden kann. Hierfür wurde die Struktur der

Visualisierung verändert, um eine rundenbasierte Simulation sowie eine Wissensbibliothek unterzubringen. Beim Use Case Additive Fertigung werden Bauteile anstatt Anlagen in der Übersicht zu sehen sein. Bei den Use Cases Intelligente Druckluft und Gleichstromfabrik mussten keine größeren Anpassungen des Aufbaus vorgenommen werden.



5 Entwicklung von Use Cases (AP 4)

5.1 Smart Maintenance (AP 4.1)

Ziele

Durch die steigende Komplexität der Produktionsanlagen und die wachsende Vielfalt an eingesetzten Produktionstechnologien, einhergehend mit ungenügender Qualifikation und Erfahrung der Mitarbeiter, ist es für die Maschinenbediener und Instandhalter eine große Herausforderung, Störpotenziale an den Maschinen rechtzeitig zu erkennen und im Fall eines ungeplanten Stillstands die Fehlerursache zu identifizieren und die richtigen Maßnahmen zur Beseitigung der Störung zu ergreifen.

Das Ziel dieses Arbeitspakets ist es daher, die Instandhaltung durch Smart Services zu unterstützen. Diese Services erfassen zielgerichtet Daten aus Maschinen und betrieblichen Anwendungssystemen, inklusive Kontext und Kurzzeit-Historien-Daten, analysieren diese und vergleichen diese dann mit bekannten Modellen. Somit können Fehler und deren Ursachen einfach und schnell identifiziert, Störungen vorhergesagt und geeignete Maßnahmen zur Störungsbehebung bzw. Störungsvermeidung empfohlen werden. Durch Assistenzsysteme werden dem Instandhalter oder Maschinenbediener die entsprechenden Problemlösungen kontextsensitiv bereitgestellt. Beim Eintritt einer Maschinenstörung, also einem ungeplanten Stillstand, wird diese soweit möglich identifiziert und dem Maschinenbediener oder Instandhalter die entsprechenden Standardhandlungs-empfehlungen zur Behebung dieser Störung angeboten. Ist für diese Störungsart keine Empfehlung hinterlegt, weil z.B. diese Störung in der Historie noch nicht aufgetreten ist, oder der empfohlene Lösungsansatz nicht erfolgreich war, kommen durch Integration aktueller IoT-Ansätze mit vorhandenen Support-Infrastrukturen des Maschinenherstellers geocoachte Handlungsempfehlungen zum Tragen. Für die Nutzung der fortschrittlichen Dienste, wie z.B. des VR/AR-Supports in der Wartung, ist darüber hinaus die Interkonnektivität unterschiedlicher Plattformen notwendig.

Die damit erreichbare Verbesserung der Servicequalität und die damit erhöhte Verfügbarkeit der Produktionsanlagen sorgen für die angestrebte Reduzierung der Verschwendung in der Produktion. Somit kann eine deutliche Reduktion der Stillstandszeiten und eine Steigerung der Effizienz des Produktionssystems nach den Maßgaben der Ultraeffizienzfabrik erreicht werden. Die grundsätzliche Struktur des Use Case ist in Abbildung 18 dargestellt.

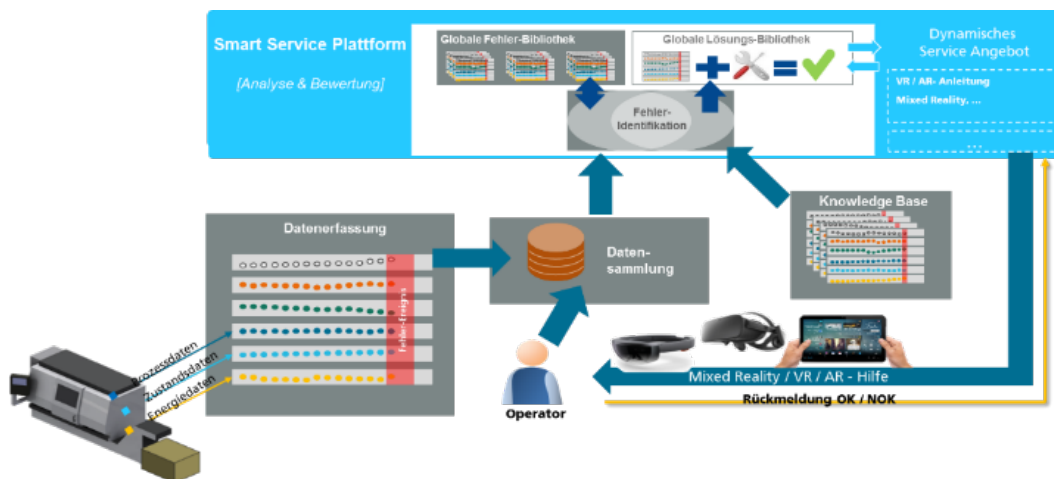


Abbildung 18: Grundstruktur des Use Case Smart Maintenance

Vorgehen

Zum Aufbau der skalierbaren Assistenzsysteme wird zunächst ein Konzept zur Datenerfassung erarbeitet. Fokus hierbei sind die kontextabhängige und zielführende Gestaltung der Datenerfassung, der Datenanreicherung und der Datenaufbereitung in Form eines cyber-kognitiven Systems. Im Anschluss werden, basierend auf den bekannten Fehlern aus den Maschinen- und Servicehistorien, Algorithmen zur Fehler- und Ursachenidentifikation entwickelt. Den jeweiligen Fehlern mit zugehörigen Ursachen können nun Lösungsvorschläge

zugeordnet werden. In einem Assistenzsystem für Mitarbeiter vor Ort, das konzipiert und prototypisch aufgebaut wird, werden diese Lösungsvorschläge für die Behebung der Störung bzw. Vorschläge für Maßnahmen zur Vermeidung von Störungen zur Verfügung gestellt. Durch Integration aktueller IoT-Ansätze mit vorhandenen Support-Infrastrukturen des Maschinenherstellers wird zusätzlich ein Service konzipiert und aufgebaut, der mittels AR/VR-Systemen eine interaktive Unterstützung des Mitarbeiters vor Ort durch einen Servicespezialisten des Maschinenherstellers ermöglicht. Die erarbeiteten Assistenzsysteme werden als Demonstrator realisiert und im Campus Schwarzwald aufgebaut. Anhand dieses Demonstrators erfolgt abschließend die Überprüfung der zu erwartenden Verbesserung der Ultraeffizienz-Kriterien.

Ergebnisse

Basierend auf der Analyse der Anlagenstruktur der Pilotanlage Arburg Allrounder 370 E (Abbildung 19), wurde die Kritikalität der einzelnen Baugruppen untersucht und die Spritzeinheit SPE als kritischste Baugruppe identifiziert.

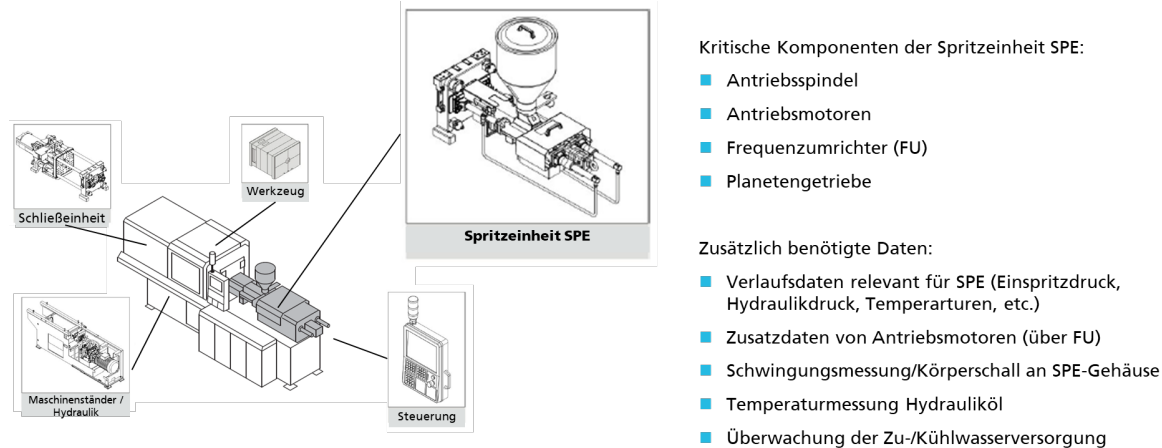


Abbildung 19: Kritische Baugruppen der Pilotanlage Arburg Allrounder 370 E

Die Spritzeinheit SPE wurde strukturiert und risikoanalytisch untersucht. Die Fehlermöglichkeiten der kritischen Baugruppen SPE wurden erfasst, die Ursachen der Fehler/Störungen ermittelt und die Konsequenzen auf die Wertschöpfungskette aufgezeigt. Somit konnten folgende Komponenten der Spritzeinheit SPE als kritisch identifiziert werden: die Antriebsspindel, die beiden Antriebsmotoren, der Frequenzumrichter (FU) und das Planetengetriebe.

Die Detailerfassung der momentan verfügbaren Daten (Steuerung, arburgXworld) zeigte u.a. auf, dass zur zustandsbasierten Überwachung und Prädiktion der kritischen Komponenten weitere Daten benötigt werden. Um die SPE-relevanten Verlaufsdaten (Einspritzdruck, Hydraulikdruck, Temperaturen, etc.), Zusatzdaten der Antriebsmotoren (über den Frequenzumrichter), eine Schwingungsmessung/Körperschallmessung an SPE-Gehäuse, eine Temperaturmessung Hydrauliköl und die Überwachung der Zu-/Kühlwasserversorgung erfassen zu können, wurden zusätzliche Datenströme definiert, Zusatzsensorik ausgewählt und installiert (470 E Golden Electric). Das Datenmodell wurde aufgebaut und um die zusätzlich benötigten Daten erweitert und das Konzept Datenerfassung, -anreicherung und -aufbereitung erarbeitet

Um eine fundierte Basis für die Entwicklung von automatisierten Algorithmen zur Fehler- und Ursachenidentifikation zu schaffen, wurde zunächst eine detaillierte Analyse der Service-Einsätze bzw. der Service-Historie durchgeführt. Hierbei wurden neben den eigentlichen Leistungen auch die Ersatzteilverbräuche betrachtet. Des Weiteren wurden Serviceunterlagen und Empfehlungen in arburgXworld gesichtet und analysiert. Diese Unterlagen werden den Betreibern der Maschinen auf einer Plattform zur Verfügung gestellt und beschreiben einfache Lösungsansätze bei Maschinenproblemen. Die Arburg interne Service-Datenbank, die Hilfestellungen für die Mitarbeiter im Arburg Service und entsprechende Handlungsempfehlungen beinhaltet, wurde gesichtet und mit dem Fokus SPE analysiert. Basierend auf den Fehlermöglichkeiten der kritischen SPE-Komponenten wurden Fehler- und Ursachenbäume entwickelt und den einzelnen Ursachen Lösungsmöglichkeiten (Handlungsempfehlungen) zugeordnet. Die Fehler- u Lösungsbibliotheken wurden strukturiert und eine (Verknüpfungs-)Logik implementiert. Auf Basis dieser Vorarbeiten

wurden automatisierte Algorithmen zur Fehler- und Ursachenidentifikation sowie das Grobkonzept der Assistenzsysteme erarbeitet (Abbildung 20).

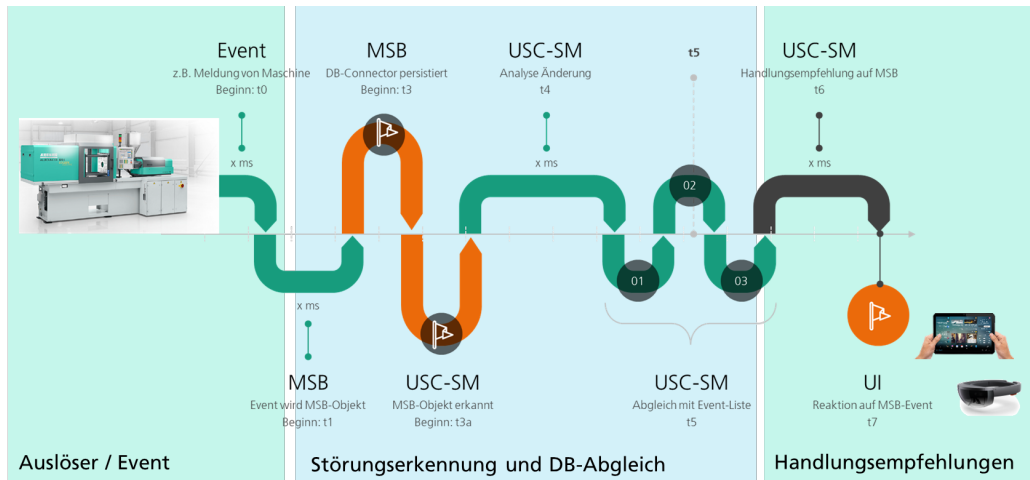


Abbildung 20: Grobkonzept der Assistenzsysteme

Die kognitiven Assistenzsysteme werden von Events ausgelöst. Ein typisches Event stellt hierbei eine Fehlermeldung aus der Maschinensteuerung dar, z.B. „Störung 8.632: Motortemperatur in kritischem Bereich“. Als weitere auslösende Events sind definierte Zustandsgrenzen von kritischen Bauteilen, die durch Condition Monitoring überwacht werden, und Restlebensdauergrenzen im Sinne der Prädiktion vorgesehen. Nach Störungserkennung und Abgleich mit Fehlerbibliothek, erfolgt die Identifikation der möglichen Ursachen. Die Assistenzsysteme stellen für die Mitarbeiter vor Ort an der Produktionsanlage Vorschläge für die Behebung von Störungen bzw. Vorschläge für Maßnahmen zur Vermeidung von Störungen zur Verfügung. Falls diese Handlungsempfehlungen nicht wirksam sind, erfolgt die interaktive Unterstützung mittels AR-Systemen durch den Technischen Service des Anlagenherstellers.

Im nächsten Schritt erfolgte die Integration des Use Smart Maintenance in den Leitstand des UEF Zentrums (Abbildung 21). Neben den Ultraeffizienz-KPIs die im Leitstand visualisiert sind, wurde ein Gesundheitsstatus der Produktionsmaschine realisiert. Dieser spiegelt dynamisch den aktuellen Zustand der Maschine wieder.

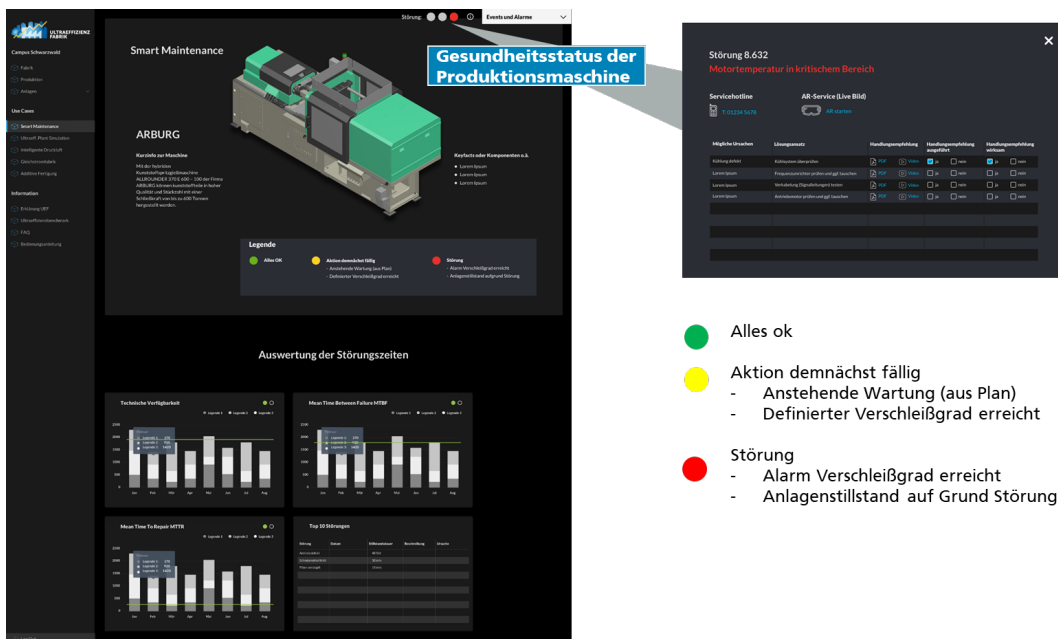


Abbildung 21: Integration des Use Case Smart Maintenance in den Leitstand des UEF Zentrum



Sobald der Gesundheitsstatus der Maschine einen kritischen Zustand erreicht, entweder durch einen Anlagenstillstand auf Grund einer konkreten Störung oder durch einen Alarm beim Erreichen des definierten Verschleißgrads, wird ein Event erzeugt. Durch die Fehler- u Lösungsbibliothek inkl. der (Verknüpfungs-)Logik, die im UEF Zentrum integriert wurde, werden die entsprechenden Handlungsempfehlungen bereitgestellt (Abbildung 22).

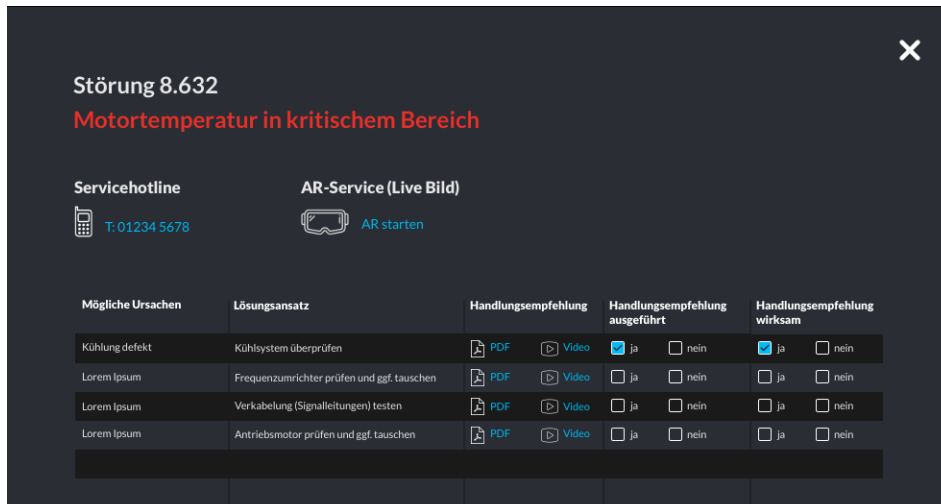


Abbildung 22 User Interface (UI) für Handlungsempfehlungen

Ein besonderer Fokus bei der Integration des ganzheitlichen Assistenzsystems in den Leitstand lag auf der Konzeption und Umsetzung des User Interface (UI) für Handlungsempfehlungen. Neben der Anzeige des Events werden die möglichen Ursachen und die entsprechenden Handlungsempfehlungen bzw. Lösungsansätze übersichtlich aufgeführt. Die Reihenfolge der Handlungsempfehlungen entspricht der Fehlerwahrscheinlichkeit, d.h. der Lösungsansatz mit der größten Erfolgswahrscheinlichkeit steht gleich oben und der Maschinenbediener kann die Lösungsansätze in Reihenfolge der Wahrscheinlichkeit nach abarbeiten. Zu jedem Lösungsansatz kann neben einer ausführlichen Beschreibung auch ein Video hinterlegt werden, das die Handlungsempfehlung zur Fehlerbehebung filmisch visualisiert. Der Maschinenbediener dokumentiert kurz durch Ankreuzen die Ausführung der Handlungsempfehlung und deren Wirksamkeit. Die Bestätigung der Wirksamkeit hat wiederum eine Auswirkung auf die Reihenfolge der Handlungsempfehlungen. Durch die Integration von Zusatzsensorik und somit der Überwachung von kritischen Komponenten können auch einzelne Handlungsempfehlungen datenbasiert ausgeschossen werden. Die Überprüfung der Kühltemperatur wird z.B. durch die Abfrage von 2 Temperaturwerten im Kühlkreislauf bei ähnlichen Temperaturen hinfällig bzw. bei stark abweichenden Temperaturen ist der entsprechende Lösungsansatz sehr erfolgsversprechend. Diese Handlungsempfehlungen werden nach Überprüfung der Zustandsdaten nicht im User Interface angeboten bzw. sehr hoch priorisiert. Sollte keiner der angebotenen Lösungsansätze zum Erfolg führen oder der Maschinenbediener nicht mit den Handlungsempfehlungen zurechtkommen, kann er jederzeit mittels AR-Systemen auf die interaktive Unterstützung durch einen Servicespezialisten des Maschinenherstellers zurückgreifen.

Parallel zu den im Leitstand hinterlegten und visualisierten Handlungsempfehlungen wurde diese auch bei der Konzeption und Umsetzung der interaktiven Unterstützung durch das AR-System berücksichtigt. Neben der Kommunikation zur einem Servicespezialisten des Maschinenherstellers wurden auch alle Handlungsempfehlungen im AR-System integriert. Die Fehlerbäume zur Identifikation möglicher Ursachen und Lösungen wurden sequentiell im AR-System hinterlegt und mit den entsprechenden Handlungsempfehlungen erweitert (Abbildung 23). Somit wurden 2 unterschiedliche Lösungswege implementiert, die auch die identische Datenbasis zurückgreifen und sich perfekt ergänzen.

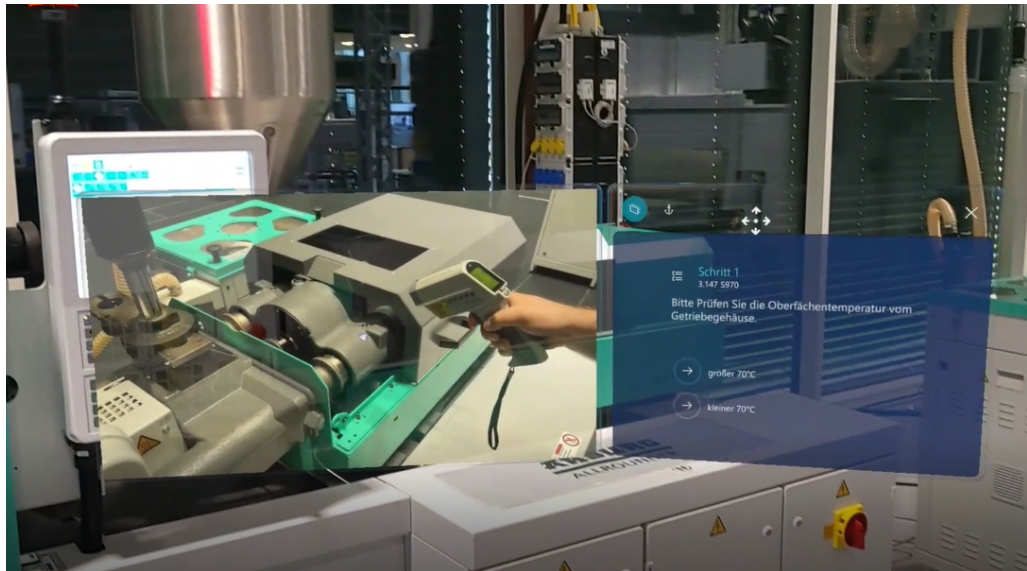


Abbildung 23 Interaktive Unterstützung durch das AR-System

Zur Demonstration des Use Cases wurden Vorführszenarien definiert und der Demonstrator konzipiert. Um die Funktion zu präsentieren, wurden Auslöser, die einen Fehler simulieren, definiert und in den Use Case integriert. Der Demonstrator wurde zunächst im Arburg Technikum realisiert und getestet. Nach erfolgreichen Tests wurden an der Pilotmaschine 370 E am Campus Schwarzwald die notwendige Zusatzsensoren installiert, die Maschine im Leitstand integriert und die AR-Funktionalitäten übertragen.

Durch das realisierte ganzheitliche Assistenzsystem – vom Maschinenzustand bis zu zielgerichteten Handlungsempfehlungen in Kombination mit der interaktiven Unterstützung durch das AR-System – konnte ein skalierbarer smarter Service zur Steigerung der Effizienz des Produktionssystems realisiert werden. Die Kombination aus Prädiktion von Störungen mit dem Einsatz von AR-Technologien zur Verkürzung der Instandhaltungstätigkeiten, ermöglicht eine erhöhte Verfügbarkeit der Produktionsanlagen und somit eine Reduzierung der Verschwendungen in der Produktion. Die Steigerung der Effizienz des Produktionssystems nach den Maßgaben der Ultraeffizienzfabrik konnte erreicht werden.

5.2 Ultraefficient Plant Simulation (AP 4.2)

Ziele

Ziel des AP 4.2. ist die Konzeption, der Aufbau und die Weiterentwicklung einer Simulationsfabrik zur Realisierung einer Ultraeffizienzvorgehensweise mittels Kaizen Methoden.

Ein zentraler Wettbewerbsfaktor für Industriebetriebe ist die Erreichung einer operativen Excellence. Viele erfolgreich umgesetzte Konzepte hierzu sind auf Basis der Kaizen-Philosophie erreicht worden. Neben den Methoden und Tools sind hier auch die Mitarbeiter und deren Umgang mit diesen der zentrale Punkt für die nachhaltige Umsetzung. Um die Vorgehensweisen und Zusammenhänge darstellen zu können und die Mitarbeiter darin zu schulen, wurden Planspiele entwickelt. Auch innerhalb der Unternehmensgruppe fischer gibt es ein solches Planspiel (die LKW Simulation), welche für verschiedenen Prinzipien aus dem Lean Baukasten adaptiert werden kann. Dieses greift aber zu kurz, um zukünftige Anforderungen an Prozesse wie z.B. Digitalisierung, Materialeffizienz, Energieeffizienz etc. abbilden zu können. Auch andere Planspiele decken immer nur einen Teil dieser Herausforderungen ab, sind aber nicht ganzheitlich aufgestellt. Z.B. hat die Hochschule Pforzheim, Institut für Industrial Ecology unter der Leitung von Prof. Dr. Schmidt und Prof. Dr. Bertagnolli mehrere Planspiele entwickelt und behandeln hier unter anderem den Themenbereich Energie- und Stoffstrommanagement (Hochschule Pforzheim 2019). Aber auch hier fehlt der ganzheitliche Ansatz mit dem Fokus die zukünftigen Rahmenbedingungen einer Ultraeffizienzvorgehensweise zu berücksichtigen.

Durch den Aufbau einer Simulationsfabrik, welche sowohl die Rahmenbedingungen der Ultraeffizienzfabrik wie auch die Methoden und Tools der Kaizen Philosophie beinhaltet, soll ein zukunftsgerichteter Wissenstransfer erfolgen. Hierbei soll simuliert werden, inwieweit sich die Kaizen-Methoden auf die Prozessabläufe der Simulationsfabrik in Bezug auf die Handlungsfelder Material, Personal, Energie, Emission und Organisation auswirken. Neben den physischen Möglichkeiten der Optimierung soll auch die didaktische Ebene beleuchtet werden, um einen optimalen Wissenstransfer zu ermöglichen.

Vorgehen

1. Aufbau und Weiterentwicklung der fischertechnik I 4.0 Fabrik

2. Integration an IT-System auch standortübergreifend, plus digitale Schnittstellen für Visualisierung

3. Konzeption und Aufbau für die Wissensvermittlung der Ultraeffizienzvorgehensweise

4. Potenzialanalyse für den Digitalen Zwilling als Werkzeug für Ultraeffizienz

5. Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für die Identifikation und Evaluierung von Einsatzszenarien des Digitalen Zwilling

Abbildung 24: Vorgehen

Im Zuge eines ganzheitlichen Ansatzes wird im ersten Schritt ein Konzept erarbeitet, um die fischertechnik I 4.0 Fabrik um die fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienz weiterzuentwickeln. Darauf folgend wird eine standortübergreifende Integration an das IT-System versiert. Zudem soll durch eine digitale Schnittstelle eine Visualisierung der Daten vorgenommen werden. Im dritten Schritt erfolgt die Entwicklung eines Schulungskonzepts bei der die fischertechnik I 4.0 Lernfabrik im Zentrum steht. Dabei sollen durch aktive wie auch inaktive Schulungseinheiten der Ultraeffizienzgedanke vermittelt werden. Nach dem abschließenden Aufbau einer Schulungssimulation wird eine Potenzialanalyse durchgeführt, inwiefern ein digitaler Zwilling als Werkzeug für die Ultraeffizienzfabrik dienlich sein kann. Darauf folgend werden Handlungsempfehlungen erarbeitet, die in Bezug auf die Identifikation und Evaluierung von Einsatzszenarien des Digitalen Zwilling Aufschluss geben.



Ergebnisse

Um ein einheitliches Verständnis des ganzheitlichen Konzepts des Ultraeffizienzmodells zu erlangen, wurde eine Grundlagenrecherche zu den Entwicklungen der biologischen und digitalen Transformation sowie den Inhalten der Ultraeffizienz in Bezug auf Produktion und Administration betrieben. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden zusammenfassend aufbereitet und im Projektteilnehmerkreis der fischer Consulting diskutiert.

Um die im Leitstand abgebildeten Daten in die fischertechnik I 4.0 Fabrik zu übertragen, wurden für jedes der fünf Handlungsfelder eine Auswahl an Kennzahlen definiert, welche innerhalb der Simulation zur Anwendung kommen sollen. Um die Vision des Ultraeffizienzmodells für Schulungszwecke zu konkretisieren, wurde im ersten Schritt eine Ist-Analyse der fischertechnik I.4.0 Lernfabrik vorgenommen, welche die Ausgangsbasis des Schulungskonzepts darstellt. Dabei wurde festgestellt, dass bereits einige Prinzipien der Kaizen Philosophie wie auch Ansätze des Ultraeffizienzgedankens in der Lernfabrik abgebildet werden. Aufgrund dessen wurde eine Potenzialanalyse vorgenommen, welche offene Themeninhalte darüber hinaus aufgenommen werden müssen, um alle fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienz abzubilden. Daraus ergibt sich ein Idealmodell, welches in der Simulationsdurchführung durch aktive wie auch inaktive Inhalte umgesetzt wird.

Anschließend wurden die einzelnen Simulationsstufen inhaltlich ausgearbeitet und durch didaktische Prinzipien ergänzt. Dazu wurden parallel Tests an der fischertechnik I 4.0 Lernfabrik vorgenommen, um festzustellen, welche Veränderungen für Simulationszwecke durchgeführt werden können. Bei der inhaltlichen Ausarbeitung sollen die Methoden und Tools der Kaizen Philosophie parallel zu den Ansätzen des Ultraeffizienzmodells betrachtet werden. Dabei soll hervorgehoben werden, dass beide Ansätze in keinem Fall in Konkurrenz zueinanderstehen, sondern sich inhaltlich ergänzen. In der Simulation sollen daher neben aktiven Einheiten der Teilnehmer, auch Lernvideos zum Einsatz kommen, welche bspw. die Entwicklungen innerhalb der digitalen und biologischen Transformation visuell darstellen. Zudem sollen Präsentationen mit hinterlegten Audiodateien für eine Konstanz, bei der Vermittlung von Wissen dienen. Bei der Erarbeitung des Grobkonzepts wurden eine Sammlung an digitalen Weiterbildungsmöglichkeiten erarbeitet, die nun im Weiteren spezifiziert und ausgearbeitet werden müssen.

Um den Bedarf einer Ultraeffizienzfabrik aufzuzeigen und die Entwicklungen innerhalb der biologischen und digitalen Transformation aufzugreifen, wurden einleitend animierte Grafiken in Videoformat erstellt. Anschließend wird den Teilnehmern die Anwendung der fischertechnik I 4.0 Lernfabrik in einem Intro-Video vorgestellt. Um den Teilnehmern den Produktionsprozess zu erläutern, wird darauffolgend eine Live-Simulation an der Fabrik durchgeführt. Die Vermittlung der theoretischen Grundlagen der fünf Handlungsfelder erfolgt durch Präsentationen, welche mit Audiodateien unterlegt wurden. Daran anschließend werden den Teilnehmern Verständnisfragen zur jeweiligen Thematik gestellt. Um innerhalb der fischertechnik I 4.0 Lernfabrik Auswirkungen aufgrund verschiedener Ereignisse darzustellen, wurden für jedes Handlungsfeld Szenarien definiert, welche zu Abweichungen in den entsprechenden Kennzahlen führen. Aufgabe der Teilnehmer ist es, die Abweichung zu identifizieren, Ursachen mittels Kaizen Methodiken zu analysieren und Maßnahmen abzuleiten. Nach physischer bzw. hypothetischer Umsetzung der Maßnahmen wird in der nächsten Runde eine Verbesserung der Kennzahl ersichtlich. Die Simulation endet inhaltlich mit einer Zusammenfassung der vier Simulationsrunden, bei der die verschiedenen Szenarien und die Abhängigkeiten der einzelnen Kennzahlen erläutert werden. Abschließend wird den Teilnehmern angeboten Feedback zu geben, welches für die Optimierung der Simulation im Sinne der kontinuierlichen Verbesserung von wesentlicher Bedeutung ist.

Im Rahmen der Weiterbildungsumgebung können die Teilnehmer/ Interessierte sich Informationen mit Praxisbeispielen rund um digitale und biologische Transformation, KAIZEN bzw. Lean Management sowie Handlungsfelder einholen.

Ein weiterer Schwerpunkt des Arbeitspaketes war die Datengenerierung zur Anbindung der Modellfabrik an das ERP System. Ursprünglich wurde geplant, dass die notwendigen Daten aus der Lernfabrik ins Dashboard übertragen werden. Dieses gestaltete sich im Nachhinein schwierig, da die Lernfabrik serienmäßig nicht die notwendigen Sensoren verfügt. Um dennoch ein Ergebnis zu erzielen, wurde in Abstimmung mit der Projektleitung entschieden, dass die Daten aus einer generierten Tabelle bereitgestellt werden. In diversen Abstimmungsterminen wurden Anforderungen und mögliche Lösungsvorschläge zur Bereitstellung der strukturierten Daten im VKF herausgearbeitet. Dieser nicht vorhersehbare Mehraufwand mit den nicht verfügbaren internen Kompetenzen seitens der fischer Consulting wird durch einen externen Dienstleister bearbeitet.



Erfreulich ist ebenfalls zu erwähnen, dass die Definition der Visualisierung der Lernfabrik mit Schwerpunkt Simulation und Wissensbibliothek im Dashboard definiert und die Inhalte im Rahmen eine Klick-Dummys vorgezeigt werden können.

Neben der Herausarbeitung und Umsetzung des didaktischen Ansatzes zur Wissensvermittlung, wurde parallel an der Datenanbindung bzw. der Datenintegration gearbeitet. Aufgrund von fehlenden Sensoren in der Lernfabrik, wurde gemeinsam im Projekt festgelegt, so dass die Simulation anhand von künstlich generierten Werten erfolgt.

	Organisation	Energie & Emission	Material	Mensch	Zusammenfa.
Übersicht	Einführung & Erläuterung – Alle Daten werden geladen				
Runde 1	Abweichung				
Runde 2	Verbesserung	Abweichung			
Runde 3		Verbesserung	Abweichung		
Runde 4			Verbesserung	Abweichung	
Runde 5				Verbesserung	Zusammenfa.

Abbildung 25: Runden für die Wissensvermittlung

Die Abbildung 25 verdeutlicht nochmal, in welchen Runden eine Abweichung bzw. Verbesserung eintritt. Auf dieser Basis wurden Zufallszahlen generiert, welche sich über die Runden ändern. Die Vorgehensweise innerhalb der Runden ist aus dem o.g. Abschnitt zu entnehmen.

Die Kennzahlen-Darstellung erfolgt im Leitstand-Dashboard, anhand von unterschiedlichen Diagrammen. Neben der aktuellen Verlaufskurve sind die Kennzahlen mit einem Zielwert und einer Ampel-Logik hinterlegt (Abbildung 26). Dieses stellt ein schnelles Erkennen der Abweichungen in der Simulation als auch in der Praxis sicher.

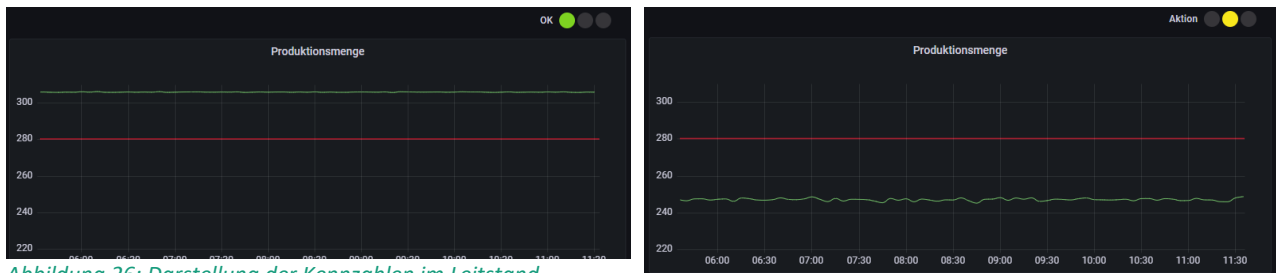


Abbildung 26: Darstellung der Kennzahlen im Leitstand

Abbildung 26 zeigt eine mögliche Abweichung dar, so dass auf dieser Grundlage u.a. Ursachen und mögliche Lösungen mit den Teilnehmern besprochen werden.

5.3 Intelligente Druckluft (AP 4.3)

Ziele

Ziel ist das Arbeitspakets ist die Digitalisierung eines Forschungs demonstrators zur Beforschung und Entwicklung von Methoden und Services zur Steigerung der Ultraeffizienz, in der Druckluft diese noch effizienter zu betreiben. Druckluftsysteme in Produktionsanlagen sind eine weit verbreitet Querschnittstechnologie mit breitem Anwendungsspektrum und hohem Energieverbrauch. Mit einem jährlichen Stromverbrauch von 16,6 TWhel trägt die Querschnittstechnologie zu 7 % des gesamten industriellen Stromverbrauchs in Deutschland bei. Etwa 70 % der gesamten Lebenszykluskosten einer Druckluftstation entfallen auf den Energieverbrauch. Mit auf Basis von Energieaudits identifizierten Maßnahmen, wie beispielsweise der Optimierung der Kompressorsteuerung oder die Verringerung der Leckage-Raten sind für Unternehmen meist deutliche Einsparungen wirtschaftlich umsetzbar. Unter dem Begriff „Intelligente Druckluft“ wird der Übertrag von Smart-Grid und Industrie 4.0 Lösungen auf Druckluftsysteme in Produktionsanlagen verstanden. Die unter dem Begriff Industrie 4.0 stattfindenden Veränderungen der industriellen Produktion für die Bereiche Energie-, Ressourcen- und in der Verallgemeinerung Ultraeffizienz wurden von verschiedenen Autoren hervorgehoben.³ Unter dem Begriff „Intelligente Druckluft“ wird der Übertrag von Smart-Grid und Industrie 4.0 Lösungen auf Druckluftsysteme in Produktionsanlagen verstanden.

Für Unternehmen sollen neue digitale Services bereitgestellt werden, die zu einer Steigerung der Ultraeffizienz im Bereich der Druckluft beitragen. Naheliegend erscheinen konkret zwei Teilbereiche, die Fokus des Projektes sind: Innerhalb des Prozesses der Leckageerkennung und -beseitigung existieren bereits eine Reihe von marktverfügbaren Produkten (Festo MotionTerminal, Aventics SmartPneumatics), die eine automatisierte Leckageerkennung unterstützen. Durch den Einsatz weiterer Sensoren kann sowohl Erkennungsrate als auch die Präzision der Lokalisation weiter verbessert werden. Ziel ist deshalb die Erprobung und Entwicklung einer erweiterten digitalen Leckageerkennung. Ergebnis ist ein Leckage-Service auf Demonstatorebene für die Beantwortung der Fragestellung, wo Leckagen im System lokalisiert sind und welche Kosten diese verursachen. Weiterer Ansatzpunkt ist die Identifikation eines defekten Bauteils, die aktuell mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden ist. In der Regel werden Bauteilkataloge von einem Service-Mitarbeiter konsultiert, um Bauteil und dessen Bauteilnummer zu identifizieren. Durch den Einsatz von Bilderkennungs-Methoden kann dieser Aufwand signifikant reduziert werden, indem ein Algorithmus die Erkennung des defekten Bauteils basierend auf einer Bildaufnahme übernimmt. Ergebnis ist ein App-Showcase zur Identifikation ausgewählter Druckluftbauteile für die Beantwortung der Fragestellung, welches defekte Bauteil vorliegt und welche Bestellnummer dieses besitzt.

Vorgehen

Für alle betrachteten Einzel-Use Cases (Bilderkennung, Akustik, Wärmebild, Algorithmus Leckagen-Erkennung) die angelehnt an CRISP-DM Anforderungen definiert und anschließend parallel an den Einzel-Usecases gearbeitet. Dabei stand zunächst die Bilderkennungs-App mit dem Ziel im Anwendungsfokus eine erste Demonstrator-App in Betrieb nehmen zu können.

Durch eine Bilderkennungs-App kann der Nutzer einfach und schnell das betroffene Bauteil identifizieren, indem das fragliche Bauteil mit der Handykamera idealerweise aus höchstens zehn Zentimeter Entfernung fotografiert wird. Anschließend gleicht ein künstliches neuronales Netz die Aufnahme mit den Fotos, die in einer Bilddatenbank hinterlegt sind, ab und spielt die korrekte Produktbezeichnung aus. Bisher wurden 20 Bauteile in die Bilddatenbank integriert. Zu Beginn wurden hierfür Daten gesammelt, bereinigt, aufbereitet und bereitgestellt (Data Preperation), anschließend die besten davon ausgewählt sowie optimiert (Modeling). Für die Bilderkennung ist die Auswahl der Normteile für die initial betrachteten Komponenten wichtig und orientiert sich an zwei Kriterien: Zum einen an der Häufigkeit des Bauteils in Druckluftsystemen und zum anderen an der Anfälligkeit für Defekte.

Um ein Bauteil in die Bilderkennungs-App aufnehmen zu können, muss es auf einem aufgebauten Drehteller platziert und aus verschiedenen Blickwinkeln fotografiert werden (Datengenerierung). Der Hintergrund ist einheitlich grün und für das Fotografieren ein Raspberry Pi verwendet. Oftmals ist in der Industrie nur ein unruhiger oder sehr komplexer Bildhintergrund vorhanden, sodass der Algorithmus der Bilderkennungs-App trainiert werden muss, das gewünschte Bauteil trotzdem richtig zu identifizieren. Dazu wird der Datensatz über ein Skript der Data Augmentation erweitert und die Aufnahmen des Greenscreen mit 50 verschiedenen Hintergründen kombiniert. Fehlerhafte Bilder werden aussortiert und die übrigen Bilder in einem Array gespeichert.



Im zweiten Use Case wird mithilfe von stationär montierten Wärmebildkameras an Druckluftanlagen an der Erkennung von Leckagen gearbeitet. Dabei erfasst die Kamera im Sekundentakt kritische Stellen, welche besonders anfällig für die Entstehung von Leckagen sind. Bei einer Leckage strömt Luft aus und die Temperatur sinkt um zwei bis drei Grad. Dieser Temperaturunterschied ist auf den Wärmebildern zu sehen, die ein Industrie-PC auswertet und die vorliegenden Informationen verarbeitet. Diese Arbeiten sind aktuell im Fokus der Arbeiten. Aktueller Stand ist hier die Entwicklung von Algorithmen im Fokus, die automatisiert die Leckagen im Wärmebild erkennen.

Ergebnisse

Mit Hilfe des intelligenten Leckagemanagements wird eine möglichst (ultra-)effiziente Behebung der Leckagen ermöglicht. Die folgenden vier Kriterien in einem KI-basierten Leckage-Management zu adressieren: 1. geringer Einsatz von Messtechnik und einfache Implementierung bzw. Anwendung; 2. Fähigkeit zur Lokalisation von Leckagen; 3. Fähigkeit zur Unterscheidung der Ursachen; 4. Marktverfügbarkeit zur praktischen Anwendung der Methode. Die Vorgehensweise muss insbesondere die Möglichkeit eröffnen, die Leckagen zu lokalisieren und deren Ursache zu unterscheiden. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, welche Informationen aus Druck- und Durchflussmessung hierfür besonders wichtig sind. Eine Möglichkeit der Vorgehensweise zur KI-basierten Leckage-Erkennung zeigt Bild 5. Die darin enthaltenen Programmschritte werden nachfolgend erläutert.

Mathematische Operationen, wie die Standardabweichung *std*, Varianz *var* oder Mittelwert *mean*, werden im ersten Schritt auf Messungen angewendet und bilden so den Merkmal-Datenframe. Das Ziel der Merkmale ist es, Zusammenhänge unterschiedlicher Leckage-Pfade zu beschreiben und diese somit als Eingangsgröße eines lernenden Modells zu verwenden. Der Merkmal-Datenframe kann als Matrix dargestellt werden, der in der nachfolgenden Gleichung für drei Volumenstrommessungen *Q1* bis *Q3* und drei Merkmale gezeigt ist:

$$M_{3 \times 3} = \begin{matrix} Q_{1_std} & Q_{1_var} & Q_{1_mean} \\ Q_{2_std} & Q_{2_var} & Q_{2_mean} \\ Q_{3_std} & Q_{3_var} & Q_{3_mean} \end{matrix}$$

Die Datengrundlage kann durch zusätzliche Vorverarbeitungsschritte wie das Normalisieren auf den Mittelwert erhöht werden. Auf den normalisierten Volumenstrom werden wiederum die mathematischen Operationen angewendet.

Im zweiten Schritt werden verschiedene Verfahren angewendet, um relevante Merkmale zu identifizieren. Diese Verfahren sind unter anderem die Entfernung nicht plausibler Werte, die Wahl von Merkmalen mit höchster Varianz oder die Reduzierung linear korrelierender Merkmale. Ein Merkmal allein für einen Aktortyp zu betrachten reicht nicht aus, um ein valides datenbasiertes Leckage-Modell zu erstellen. Die Herausforderung besteht darin, Merkmale und auch Kombinationen aus Merkmalen auszuwählen, die in der Gesamtbetrachtung eine ausreichend hohe Signifikanz für unterschiedliche Aktortypen und Leckage-Pfade aufweisen. Je signifikanter die Merkmale sind, desto wahrscheinlicher ist ein zufriedenstellendes Klassifizierungsergebnis.

Die Merkmale und die Zuweisung der Aktoraktionen werden für das Training und die anschließende Validierung der Klassifikatoren verwendet. Im dritten Schritt handelt es sich nicht um einen einzelnen Klassifikator, vielmehr werden unterschiedliche Klassifikatortypen und Architekturen gemäß der Vorgehensweise, die zudem einer Rastersuche nach den besten Modellparametern unterzogen werden. Als bester Klassifikator geht derjenige hervor, welcher die höchste Genauigkeit bei der Lösung des Klassifikationsproblems erreicht. Die Genauigkeit ist die Rate von korrekten (Vorhersage entspricht dem wahren Wert) und falschen Vorhersagen des Modells. Im binären Fall wäre dies die Unterscheidung von „Dicht: Presse ausfahren“ und „Loch: Presse ausfahren“. Je mehr Fälle mit demselben Klassifikator zu differenzieren sind, desto anspruchsvoller ist die Aufgabe und erfahrungsgemäß niedriger die Genauigkeit. Nachdem der Klassifikator erzeugt ist, müssen der Startzeitpunkt der Aktoraktion und die Aktoraktion selbst im vierten Schritt identifiziert werden. Mit charakteristischen Veränderungen im Verlaufsprofil ist es beispielsweise möglich, den Startzeitpunkt für das Ausfahren der Presse durch den infolge der Ansteuerung verursachten hohen kurzzeitigen Druckabfall zu erkennen.

Im fünften Schritt wird die Kombination aus identifiziertem Startzeitpunkt einer Aktoraktion und Klassifikator zur Unterscheidung der Leckage-Art sowie Aktortyp am Druckluft-Labordemonstrator getestet. Anders als in den vorangegangenen Schritten werden im Betrieb lediglich die Druck- und Volumenstromsignale verwendet. Dies stellt sicher, dass nicht die Status der Ventile als Merkmal genutzt werden, sondern getrennt davon die beiden



Messsignale. Die Status der Ventile bleiben zur Reduzierung des Implementierungsaufwands ungenutzt, um der Anforderung an ein zukunftsfähiges digitales Leakage-Management gerecht zu werden. Anhand der Messsignale werden die Merkmale errechnet und die Klassifikation durchgeführt. Die Leakage-Modelle sind unter Berücksichtigung des Life Cycle-Prozesses und der Qualitätsanforderungen an ein KI-basiertes Modell zu entwickeln und zu testen.

Es werden fünf Lebensstufen eines datenbasierten Modells unterschieden: Konzeption, Entwicklung, Bereitstellung und Betrieb sowie Ruhestandsphase, die sich am Ende der Betriebszeit anschließt. Nach dem Test am Druckluft-Labordemonstrator sind die Leakage-Modelle entwickelt und können für die Endanwendung auf einer neuen Infrastruktur bereitgestellt und anschließend betrieben werden. Die Übertragbarkeit der Leakage-Modelle, die sich hieraus ergibt, ist ein entscheidender Vorteil gegenüber anderen datenbasierten Modellen im Druckluftkontext. In diesen werden lediglich die Abweichungen zu einem speziell ausgewählten Referenzzustand eines Aktors oder Maschine klassifiziert.

Erste Praxistests am Druckluft-Labordemonstrator zeigen, dass die beschriebene Vorgehensweise vielversprechend ist. Das Klassifikationsergebnis zeigt als absolute Werte der vorhergesagten gegenüber der wahren Klasse. Auf der Hauptdiagonale sind die korrekten Vorhersagen aufgetragen. Untersucht sind sechs unterschiedliche Klassen bestehend aus den beiden Aktoraktionen „abholen“ und „übergeben“ an der 180° Schwenkeinheit für die Leakage-Pfade „Dicht“, „Loch“ und „Undicht“. Hohe Klassifikationsgenauigkeiten können erreicht werden, wenn Signalausschnitte mithilfe von Start- und Endzeitpunkt aus den Maschinenzuständen zum Training und Test extrahiert werden. Die Klassifikation mit drei signifikanten Merkmalen liefert beim Training eine erwartungsgemäß hohe Genauigkeit von 99,3 % mit einem Entscheidungsbaum als Klassifikator. Die Testgenauigkeit unter Verwendung des trainierten Modells mit jeweils 100 unabhängigen Testdaten pro Klasse beträgt 97,8 %. Herausfordernd bleibt in weiteren Untersuchungen die Klassifikation in Signalausschnitten, deren Startzeitpunkte der Aktoraktion aus den Druckluftsignalen extrahiert werden.

Tabelle 1: Konfusionsmatrix zur Bewertung der Klassifikationsleistung

Wahre Klasse	Dicht Schwenk abholen	100	0	0	0	0	0
	Dicht Schwenk übergeben	0	97	0	2	1	0
	Loch Schwenk abholen	0	0	100	0	0	0
	Loch Schwenk übergeben	0	0	0	98	0	1
	Undicht Schwenk abholen	0	1	0	1	96	2
	Undicht Schwenk übergeben	0	0	0	1	4	94
		Dicht Schwenk abholen	Dicht Schwenk übergeben	Loch Schwenk abholen	Loch Schwenk übergeben	Undicht Schwenk abholen	Undicht Schwenk übergeben
		Vorhergesagte Klasse					

Im Zuge weiterer angestoßener Entwicklungen in der zweiten Hälfte des Jahres 2022 ein gemeinsam mit dem Sensorhersteller SICK AG entwickelter Druckluftdemonstrator in Betrieb genommen werden. Dieser dient der weiteren Verfeinerung des entwickelten Leckageservices und soll potentiell in dessen Einsatz in der Industrie münden.

Potentielle Kunden des entwickelten Service sind als Nutzer Industrieunternehmen mit Druckluftsystemen, als Entwicklungspartner zudem Sensorik- und Softwareunternehmen. Durch die weitere Anbindung an den Leitstand wird die (ultra-)effiziente Behebung von Leckagen in der Druckluft visualisiert und hierdurch Hemmnisse für den



Anwender abgebaut, wodurch zudem die gesamtwirtschaftliche Effizienz gesteigert wird. Der Leitstand visualisiert und Verbräuche und stellt ein intuitives Dashboard für die Übersicht des Druckluftsystems dar.



5.4 Gleichstromfabrik (AP 4.4)

Ziele

Das Ziel des AP 4.4 „Gleichstromfabrik“ ist die Entwicklung Cloudbasierter Messgeräte zur Erfassung von Energieströmen in Fabriken. Die Messgeräte werden zur Ermittlung der beim Einsatz eines industriellen Gleichstromnetzes entstehenden Effizienzpotenziale verwendet. Im Laufe der Arbeiten des AP 4.4 werden Mess- und Bewertungsmethoden zusammengefasst, um die zu erwartenden Verbesserungen hinsichtlich der Ultraeffizienz-Kriterien durch den Einsatz eines Gleichstromnetzes zu ermitteln.

Vorgehen

Zur Erreichung dieser Ziele werden zuerst die Verlustmechanismen der Maschinen in der Produktion theoretisch betrachtet. Anschließend werden die Testmessungen intern durchgeführt, um die Anforderungen an das zu entwickelnde Messgerät festzulegen, und den zukünftigen Messplan für Industriepartner zu optimieren. Abschließend werden die Mess- und Bewertungsmethoden entwickelt und mit den Messdaten des Industriepartners validiert.

1. Ermittlung der theoretischen Wandlungsverluste
 - i. Ermittlung der verlustbehafteten Wandlungsstellen in AC- und DC-Netze:
Der Ausgangspunkt für die theoretische Analyse sind die Verluste in der elektrischen Energieverteilung von Fabriken mit herkömmlicher Wechselspannungsversorgung. Die zu betrachtenden Stellen sind die leistungselektrischen Wandler in Energieverbrauchern, -erzeugern bzw. -speichern. Dabei werden Unterschiede zwischen den Aufbau von AC- und DC-Komponenten aufgezeigt. Zum Beispiel werden Netzfilter, die im AC-Netz die Oberschwingungen reduzieren, im DC-Netz nicht benötigt. Alle Gleichrichter (AC-DC-Wandler) werden im DC-Netz eingespart, darunter fallen z. B. der passive Gleichrichter im Netzteilen und die passiven und aktiven Gleichrichter in Umrichtern oder Antriebsverbänden mit DC-Zwischenkreis. Weiterhin unterscheiden sich die Leistungswandler für Energieerzeuger. Während im AC-Netz Wechselrichter genutzt werden, können diese im DC-Netz gegen DC-DC Wandler ersetzt werden.
 - ii. Darstellung der Verlustmechanismen
Die Verlustmechanismen in AC- und DC-Netzen werden jeweils grafisch dargestellt und verglichen. Ansätze für die mathematische Berechnung der einzelnen Verlustmechanismen wurden formuliert. Darunter fallen Verluste an Transformatoren, Filtern, Kabeln und Bremswiderständen sowie Schaltverluste und Dauerverluste an leistungselektronischen Wandlern. Die Probemessung im nächsten Schritt ist nötig, um festzustellen, welche Verluste für die Ermittlung der zu erwartenden Verbesserungen im DC-Netz wichtig sind.
2. Durchführung von Testmessungen
Bevor die Vermessung bei einem Industriepartner durchgeführt wird, werden Testmessungen benötigt. In heutigen automatisierten Industrieproduktionen ist die Robotik eine der Kerntechnologie für die Handhabung von Halbzeugen. Daher wurden Testmessungen an zwei Industrierobotern durchgeführt: Automated Fiber Placement (AFP)-Anlage am IGCV und ein Roboter am Fraunhofer IPA. Die Messungen wurden vom Fraunhofer IPA geplant und in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IGCV durchgeführt. Leistung, Effizienzgrade und Energieflüsse werden in der Datenbearbeitung berechnet und analysiert.
 - i. Vermessung am IGCV: Die Spannungen und Ströme an folgenden Messstellen werden mit einer Abtastfrequenz von 50kHz gemessen: a) Netzfilter, b) AC-seitige Einspeisung von Gleichrichter für die Antriebs-, c) Eingangs (Gleichseite) und Ausgangsleistung (6-Achsen Wechelseite) der Antriebsgleichrichter, d) DC-Zwischenkreis (Zwischenkreisspannung und -strom), e) Bremsenwiderstand, f) 24V Kleinspannungsversorgung.
 - ii. Vermessung am IPA: Mit den Erfahrungen der ersten Messung kann die Anzahl der Messstellen reduziert werden. Darüber hinaus wird in diesen Messungen ermittelt, welche Höhe die Abtastfrequenz mindestens haben muss, um eine ausreichende Genauigkeit zu erreichen. Die Spannungen und Ströme werden mit unterschiedlichen Abtastfrequenzen von 20kHz, 10kHz, 5kHz, 2kHz an folgenden Messstellen gemessen: a) AC-Einspeisung, b) Eingangs- und Ausgangsspannung und -ströme des Netzfilters vor dem Gleichrichter, c) Spannung und Strom im DC-Zwischenkreis nach dem Gleichrichter, d) Spannung und Strom am Bremswiderstand, e) Spannung und Ströme vor und hinter der 24V Kleinspannungsversorgung



3. Ermittlung der relevanten Verlustmechanismen und der Anforderung an das Messgerät

i. Netzfilter:

Die zwei vermessenen Anlagen verwenden passive Netzfilter. Passive Netzfilter besitzen keine Stromversorgung und bestehen aus passiven Bauelementen wie Drosseln, Kondensatoren und Widerstände. Es entsteht ein geringer Verlust in der Praxis, ca. 1%.¹ Dieser wird hauptsächlich durch den ohm'schen Spannungsabfall über die Drosselspule verursacht. Hier gilt, je höher der Drosselwiderstand desto höher der Verlust. Je nach Kosten der Drossel kann der Verlust im Filter auch höher ausfallen. Um diesen Verlust zu messen, muss eine sehr präzise Messung durchgeführt werden. Insbesondere Ableitströme der Filter werden über das Gehäuse abgeleitet, so dass diese sehr schwer zu erfassen sind. In unseren Messungen können wir aufgrund des entstehenden Messfehlers keinen signifikanten Wert für den Verlust ausweisen und aufgrund des Hardwareaufbaus des Filters, wird der Verlust in der Größenordnung von 1-2 % geschätzt. In der Industrie werden zusätzlich aktive Filter verwendet, diese besitzen aktive Steuereinheiten, deren Stromversorgung und Regelung höhere Verluste verursachen. Angaben für die Effizienz aktiver Filter schwanken für unterschiedliche Hersteller stark, jedoch werden die Verluste nicht über 5% betragen. Aktive Filter werden zur Korrektur des Leistungsfaktors (engl. „Power Factor Correction“, PFC) hinter Gleichrichtern montiert. Daher können die Verluste von Gleichrichtern und Filtern mithilfe einer Integration gemessen werden. Verluste in aktiven Filtern sollten in den Messungen berücksichtigt werden.

ii. DC-Zwischenkreis:

Ein wesentlicher Anteil der elektrischen Verluste im Antriebsystem entsteht durch die Aktivierung des Bremswiderstands. Wenn der elektrische Antrieb einer Roboterachse bremst, wird Energie in den Zwischenkreis zurückgespeist. Die zurückgespeiste Energie führt zu einem Spannungsstieg im DC-Zwischenkreis. Um eine Überspannung zu vermeiden und abzubauen, wird diese Energie durch einen Bremswiderstand in Wärme umgesetzt. Wenn der Roboter sich langsam bewegt und bremst, führt dieser Effekt zu geringeren Verlusten, als wenn dieser abrupt beschleunigt. In den Vermessungen des Roboters am Fraunhofer IPA kann der Zusammenhang zwischen der gemessenen Verlustenergie im DC-Zwischenkreis der Antriebe sowie der Last (angehobene Masse) und der Geschwindigkeit des Roboters signifikant nachgewiesen werden. Vermessen wurde der Roboter anhand von drei Faktoren: a) der angehobenen Masse mit den Faktorstufen 5kg und 100kg, b) der Geschwindigkeit der Bewegung in den Faktorstufen 50% und 100% der Maximalgeschwindigkeit, c) dem Bewegungsablauf des Roboters, der Bewegung einzelner Achsen und dem Parallelbetrieb aller Achsen. Tabelle 4.1 zeigt die gemessenen Verluste am DC-Zwischenkreis für die unterschiedlichen Programmeinstellungen. Der Prozentwert gibt die energetischen Verluste des Bremswiderstands im Verhältnis zur in den DC-Zwischenkreis eingespeisten Energie. Dieser Verlust kann durch den Einsatz eines DC-Netzes vermieden werden.

Tabelle 4.1: Experimentell bestimmte Verluste am Bremswiderstand eines Roboters

Geschwindigkeit der Bewegung		50 %	100 %	50 %	100 %
Bewegungsablauf		Einzelachse	Alle-Achsen	Alle-Achsen	Alle-Achsen
Angehobene Masse	5 kg	1.2%	5.5%	7.2%	8.1%
	100 kg	7.3%	9.4%	12.6%	25.9%

4. Hardwareseitiger Aufbau des Messgeräts

Für den Aufbau des Messgeräts wurden geeignete Sensoren und ein A/D Wandler anhand der von den Testmessungen abgeleiteten Spezifikationen ausgewählt. Für die Sensoren ist eine Unterstützung von AC und DC Messungen, sowie eine Samplerate von mindestens 10 kSamples/s notwendig. Der Messbereich der Spannung sollte zwischen 0 und 1000 V DC sowie 400 V AC liegen. Für die Erfassung der Ströme ist ein Messbereich von 0 bis 200 A für Maschinen bis 120 kW ausreichend. Der A/D-Wandler muss für die Berechnung der Effizienzverluste einer Anlage in der Lage sein an 10 Messpunkten parallel zu messen. Basierend auf der

¹ S. M. Andrzej Pietkiewicz, "Proper selection of passive and active power quality filter for the mitigation of mains harmonics," Switzerland, Dec. 2008



Anforderung, dass die Messdaten mit mindestens 10 kSamples/s pro Messpunkt abgetastet werden müssen ergibt sich eine Abtastrate von mindestens 100 kSamples/s für den A/D-Wandler. Zusätzlich muss der A/D-Wandler in der Lage sein die Daten über eine Schnittstelle an ein Edge-Device zu übertragen. Das Edge-Device wiederum ist für die Vorverarbeitung, Aggregation, Kompression der Daten sowie den Datentransfer an den Leitstand zuständig. Basierend auf den genannten Spezifikationen wurden die Spannungssensoren *Pico TA057* und Stromzangen *Pico TA167* ausgewählt. Als A/D-Wandler wird ein *Labjack T7* eingesetzt. Der A/D-Wandler ist physisch über ein USB-Kabel an ein Edge-Device angeschlossen und kann über das Modbus-Protokoll gesteuert werden kann. Als Edge-Device wird der Einplatinencomputer *Raspberry Pi 4* verwendet. Der gesamte Messgerätaufbau ist in Abbildung 20 skizziert.

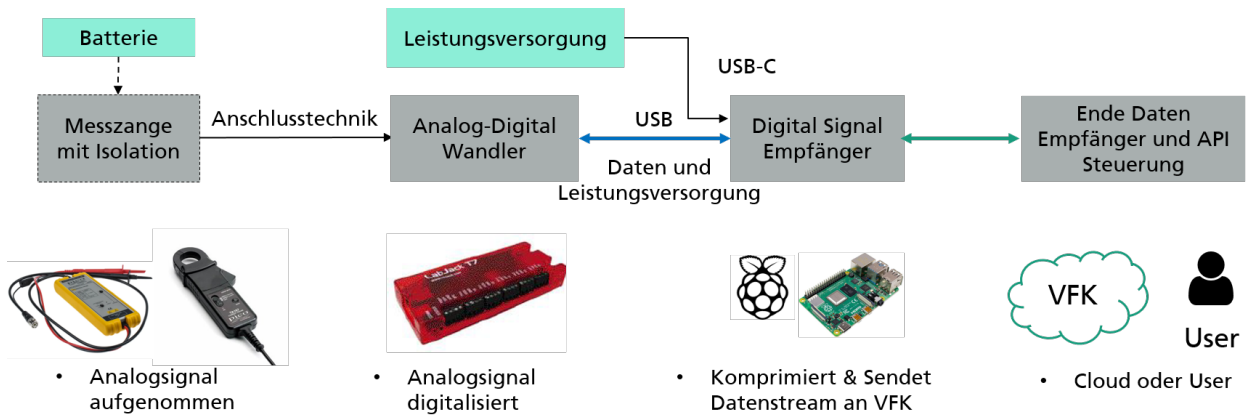


Abbildung 27 Darstellung der Messkette. Die eingesetzten Komponenten sind in grau dargestellt und die jeweils benötigten Leistungsversorgungen sind grün hinterlegt.

5. Softwareseitiger Aufbau des Messgeräts

Basierend auf der Auswahl der Hardwarekomponenten für das Messgerät wird in diesem Abschnitt die softwareseitige Vernetzung beschrieben. Dazu wird zuerst auf die Kommunikation zwischen A/D-Wandler und Edge-Device eingegangen, daraufhin wird die Vorverarbeitung und der Transfer der digitalen Messdaten dargelegt und abschließend wird die Funktionsweise des Cloud-Service zum Empfang der Messdaten am Leitstand geschildert.

Damit das Messgerät durch einen Menschen bedient werden kann wird eine Web-Applikation (im Folgenden als Frontend bezeichnet) mit JavaScript implementiert. Das Frontend verfügt über die nötigen Einstellungen, um den A/D-Wandler für die benötigten Messungen im Rahmen des Forschungsprojekts vorzubereiten, sowie über einen Steuermechanismus den Stream zu starten und stoppen. Die im Frontend getroffenen Einstellungen werden an ein in Python implementiertes Backend gesendet. Als Kommunikationsschnittstelle zwischen Frontend und Backend wurde eine RESTful-API implementiert. Das Backend läuft ebenfalls auf dem Edge-Device und übernimmt die Vermittlerfunktion zwischen dem Nutzenden (über das Frontend), dem A/D-Wandler und dem Leitstand (Cloud-Service). Die im Frontend getroffenen Einstellungen werden über das Modbus-Protokoll im A/D-Wandler gesetzt. Sobald der Stream gestartet wird, greift das Backend in regelmäßigen Abständen die Messdaten vom Puffer des A/D-Wandlers ab. Die abgegriffenen Daten werden anschließend den angeschlossenen Sensoren zugeordnet und entsprechend der Einstellung der Messsensoren in die Einheit der Messgröße transformiert. Die Messdaten werden anschließend komprimiert. Die Kompression der Daten findet mithilfe der Python-Bibliothek *zlib* auf Byteebene statt. Anschließend werden die komprimierten Daten über den MSB an den Leitstand gesendet. Dort empfängt ein in Python programmierter Cloud-Service die Daten, dekomprimiert diese und speichert die Messdaten in einer Zeitreihendatenbank ab.

6. Funktionstest

Das Ziel des Messgeräts ist elektrische Verluste zu identifizieren, um anschließend eine Effizienzabschätzung zu ermöglichen. Diese Abschätzung dient als Referenz, ob der Betrieb der Anlage in einem DC-Netz Energie einsparen würden. Die dafür benötigten Daten sind die elektrische Verbrauchsleistung sowie die Verlustleistung der Anlage im AC-Netz. Der DC-Zwischenkreis ist ein typisches Element in der Netztopologie eines Antriebssystems, so dass diese nativ eine Versorgung mit Gleichspannung ermöglichen. Dabei können



Verlustmechanismen, die im AC-Netz auftreten vermieden werden. Diese werden unter 1. und 3. ausführlich beschrieben.

iii. Test der Basisfunktionen

Die Basisfunktionen des Messgeräts umfassen neben dem Messen von mehreren Messpunkten, parallel auch die Datenvorverarbeitung sowie den Datentransfer zum Cloudservice und die Aufbereitung der Daten im Leitstand. Der Test der Basisfunktionen wurde in mehreren Etappen durchgeführt, dadurch konnten alle Basisfunktionen separat getestet und validiert werden. Dazu wurde zuerst die analoge Messkette getestet. Das Testergebnis zeigt, dass das Messsystem in der Lage ist Stromspannung und -stärke im AC-Netz mit einer Abtastrate von 10 kHz je Messstelle aufzunehmen. Bei der Weiterverarbeitung der Rohdaten auf dem Edge-Device sowie der Transfer der komprimierten Daten zum Cloud-Service konnte ebenfalls erfolgreich abgeschlossen werden. Eine prototypische Darstellung der Stromspannungen und -stärke im Leitstand konnte zudem mit den statischen Daten umgesetzt werden.

iv. Test im Labor

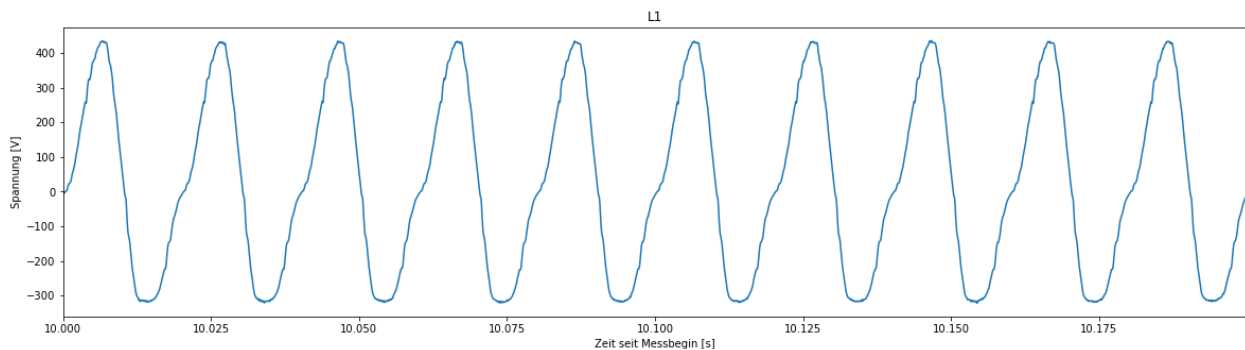


Abbildung 28 Ausschnitt der Spannungsmessung an L1 zur Visualisierung der Abweichung vom Sinusmuster.

Nach der Fertigstellung der Grundfunktionen des Messsystems wurde eine Probemessung an einer Spritzgussmaschine durchgeführt. Ziel dieses Tests ist die Validierung der lokalen Messgerätfunktionen in einer zusammenhängenden Messkampagne. Zu den lokalen Messgerätfunktionen zählen die Aufnahme von Messdaten, sowie die Vorverarbeitung und Kompression. Der Datentransfer wurde für diesen Test nicht aktiviert und die aufgenommenen Messdaten wurden lokal gespeichert. Dadurch konnten die Daten direkt vor Ort mit den in Abschnitt 4.4.2.ii) aufgenommenen Daten verglichen werden. Ein weiterer Test mit Anbindung an den Leitstand zur Validierung aller Basisfunktionen ist geplant. Für die Testmessung werden die AC-Einspeisung für den Motor, die Wärmewiderstände, sowie der DC-Zwischenkreis des Motorantriebssystems vermessen. Die beschriebenen Funktionen konnten erfolgreich getestet werden. Lediglich bei der Datenaufnahme eines Spannungssensors konnte beobachtet werden, dass kein klares Sinus-Signal abgetastet werden konnte (siehe Abbildung 28). Als Ursachen kommen eine Komponentenfehlfunktion der Spritzgussmaschine, Interferenz oder ungenügende Stromversorgung des Messensors in Frage. Die tatsächliche Ursache konnte nicht abschließend geklärt werden.

Ergebnisse

Die abschließende Messung an der Mikro-Spritzgussmaschine hat zu vier Erkenntnissen als Ergebnis geführt und damit mögliche Potenziale einer DC-Umrüstung der Maschine aufgezeigt:

1. Der Leistungsfaktor, der den Anteil von Wirk- zur Scheinleistung angibt, beträgt 0,6 (Abbildung 29a). Die Scheinleistung ist die geometrische Addition von Wirk- und Blindleistung (Verzerrungs- sowie auch Verschiebungsblindleistung). Im AC-Netz muss diese Scheinleistung übertragen werden und verursacht Verluste im Übertragungssystem. Je kleiner der Leistungsfaktor, desto größer die Blindleistung und damit auch die Verluste auf der Leitung, da diese übertragen wird, aber nicht am Prozess wirkt. Die Ursache für diesen niedrigen Leistungsfaktor liegt vor allem im ungesteuerten Diodengleichrichter der Maschine, der den Zwischenkreis des Antriebs versorgt. Im Gegensatz zum DC-Netz, bei dem nur Wirkleistung

übertragen wird, führt eine Berechnung zu 6 % höheren Übertragungsverlusten bezogen auf die zu übertragende Leistung pro 100 m.

2. Der Filter am AC-Anschlusspunkt weist eine Verlustleistung von 46 % auf (Abbildung 29 b)
3. Die Maschine hat kein Rekuperationspotenzial, da der geregelte Antrieb über den Prozess nicht in einem generatorischen Betriebszustand versetzt wird. Damit ist dieses Potenzial bei 0 %.
4. Ein zusätzlicher Aspekt ist die unsymmetrische Belastung der Phasen des AC-Drehstromnetzes. Dabei tritt eine Schiefast von 45 % auf (Abbildung 29 c). Eine solche Schiefast erfordert eine höhere Leistungsauslegung der Infrastrukturkomponenten, da diese für alle Phasen gleich auf den höchsten Leistungsbedarf ausgelegt sind.

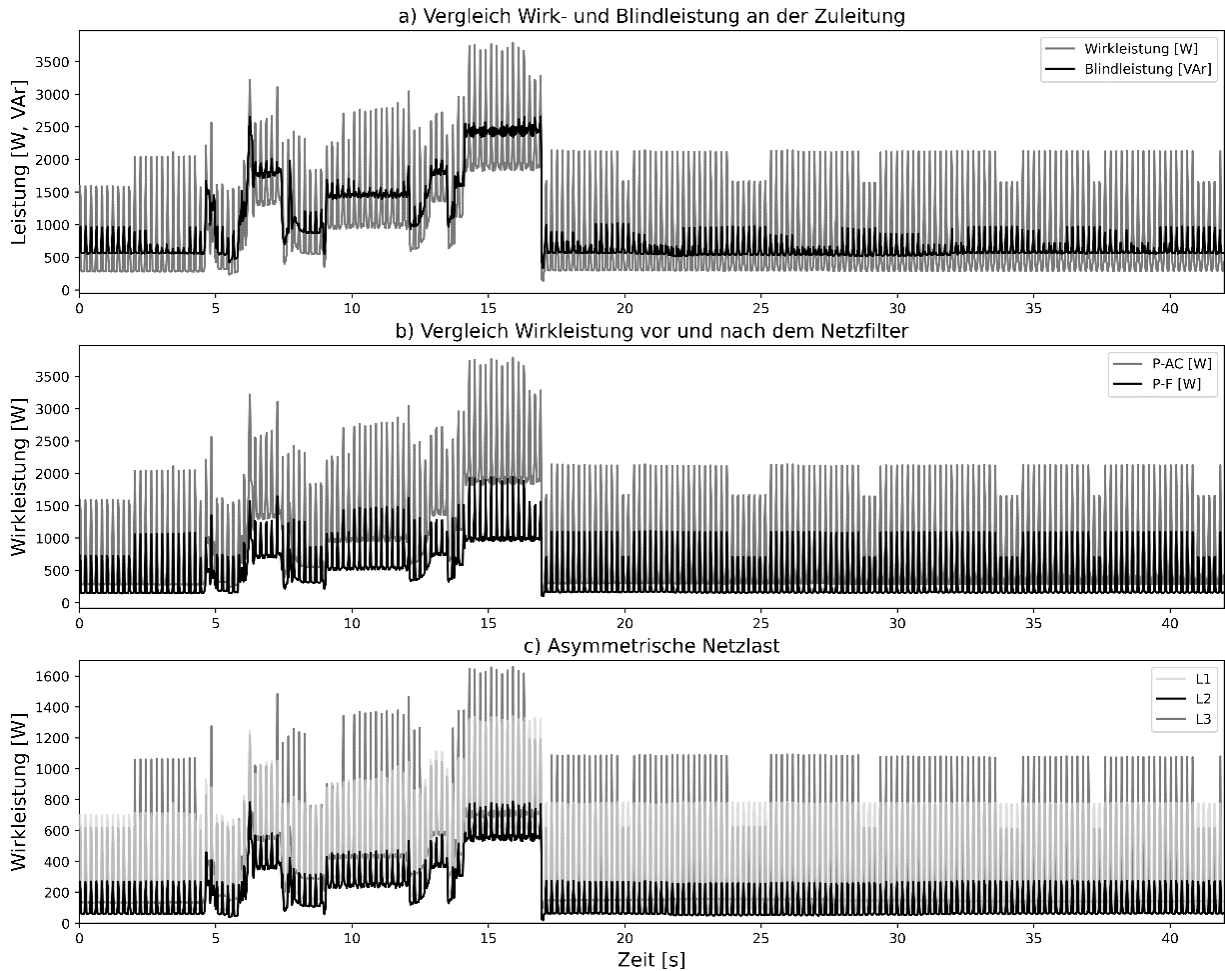


Abbildung 29 a) Vergleich Wirk- und Blindleistung am AC-Anschlusspunkt über alle Phasen, b) vor und nach dem Filter über alle Phasen, c) Leistungsmessungen am AC-Anschlusspunkt je Phase

Das Effizienzpotenzial für eine Umrüstung der untersuchten Mikro-Spritzgussmaschine auf DC liegt im Bereich von 52 % bei Berücksichtigung einer Anschlussleitungslänge von 100 m. Eine Umrüstung würde zusätzlich die Infrastruktur von den Oberschwingungen der Verzerrungsblindleistung entlasten und könnte durch Wegfall der Schiefast kleiner ausgelegt werden.

Die gemessenen Daten und das ermittelte Potenzial wurden in die Datenbank des Leitstands übertragen. Somit sind neben den Erläuterungen zum Messkonzept, den notwendigen umzubauenden Systemkomponenten auch die Messergebnisse für den Anwender im Leitstand sichtbar.



5.5 Additive Fertigung (AP 4.5)

Ziele

Das Arbeitspaket hat zum Ziel Ultraeffizienzpotenziale von additiver Fertigung aufzuzeigen und konkrete Handlungsempfehlungen zum Einsatz von additiver Fertigungstechnologie abzuleiten. Beispielsweise erscheint es logisch, dass additive Verfahren gegenüber subtraktiven Verfahren ein deutliches Potenzial für Materialeffizienz bieten. Im Rahmen des Demonstrators soll aufgezeigt werden, wie diese Materialeffizienz erreicht werden kann. Dazu soll die Prozesskette von der Produktidee über die Produktentwicklung bis zum Fertigprodukt analysiert werden. Durch Optimierung der Prozesse sollen Ultraeffizienzpotenziale gehoben und aufgezeigt werden. Außerdem sollen Beispielteile aus verschiedenen Kategorien zum anschaulichen Vergleich von konventionell produzierten Teilen und 3D-gedruckten Teilen dienen.

Vorgehen

Nach einer Auswahl geeigneter Beispielteile für den Umstieg von abtragender Fertigung auf additive Fertigung erfolgt eine Analyse, sowie eine Spezifizierung der Bauteile. Erste Priorität hat im Folgenden der Vergleich von Emissionen, Energie- und Materialverbrauch bei Konventionell vs. Additiv. Dabei werden Szenariodaten (Vergangenheitsdaten, statisch) aus der FDM Anlage im DE-Lab am Fraunhofer IAO und aus der Produktion von Horvath verwendet. Weiterhin werden auch die Gesamtauswirkungen hinsichtlich organisatorischen und Personalbezogen (Kompetenzen) Themen herangezogen.

Als Grundlage für einen ganzheitlichen Vergleich wird das sogenannte MITO-Modell verwendet. „MITO“ ist ein von Prof. Binner entwickelter theoretischer Ansatz zur ganzheitlichen prozessorientierten Organisationsentwicklung und zur outputorientierten Unternehmenssteuerung. Es ist in die vier Teilsegmente „Management, Input, Transformation und Output“ unterteilt, um Unternehmensprozesse zu strukturieren und zu klassifizieren.

Die Betrachtungsweise eines Unternehmens mithilfe des MITO-Modells ermöglicht es, ein Unternehmen mit seinen

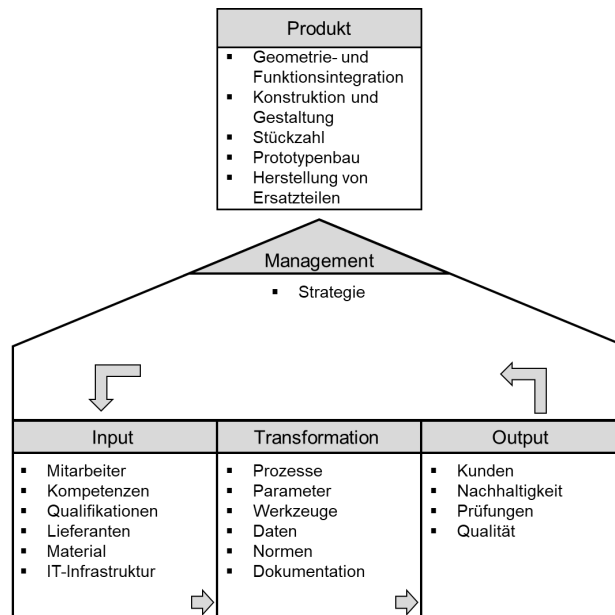


Abbildung 30: Angepasstes MITO-Modell

unterschiedlichen Teilsegmenten, Beziehungen zu Partnern und seinem Umfeld vereinfacht, aber dennoch ganzheitlich abzubilden. Abbildung 30 zeigt das MITO-Modell mit für den Einsatz von AF relevanten Fragestellungen (Clustern) für jedes der vier Segmente. Diese Cluster werden im Folgenden zur Strukturierung der zu identifizierenden Auswirkungen herangezogen. Das MITO-Modell wurde um das Segment Produkt erweitert, da dies mit Blick auf AF eine zentrale Rolle einnimmt. Zur weiteren Veranschaulichung werden generische Prozessketten für die konventionelle bzw. additive Fertigung erarbeitet auf Basis deren eine erste Einschätzung des Vergleichs zwischen konventioneller und additiver Fertigung basiert.

Ergebnisse

Im Laufe des Projekts wurden etliche verschiedene Teile sowohl konventionell als auch additiv gefertigt. Nach der Herstellung weiterer Teile im FDM-Verfahren wurden die Prozesskassen entsprechend weiterentwickelt. Die Datenbasis für den Vergleich der Herstellungsverfahren wurde zudem erweitert.

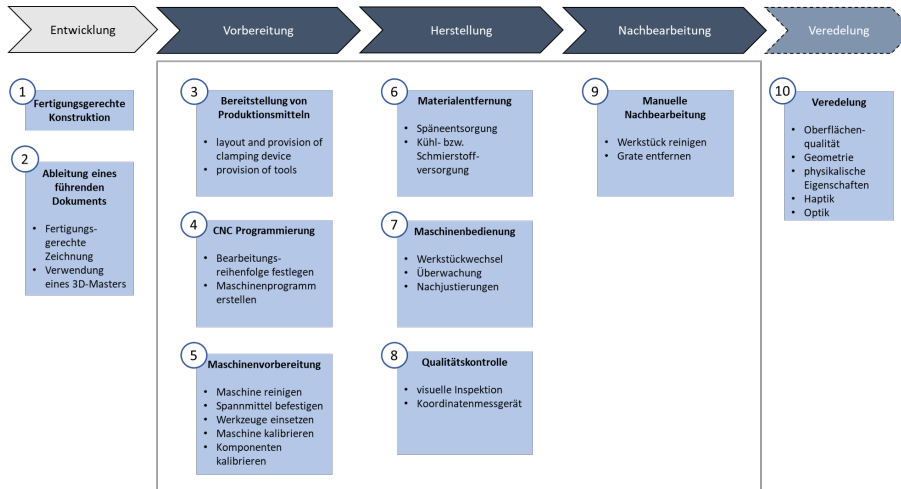


Abbildung 31: Prozesskette konventionelle Fertigung

Die in Abbildung 32 dargestellte Prozesskette der additiven Fertigung zeigt vor allem im Bereich der digitalen Vorprozesse Einsparpotential im Sinne der Ultraeffizienz, dies wurde im Rahmen des Projekts für additiv gefertigte Beispielteile evaluiert und validiert.

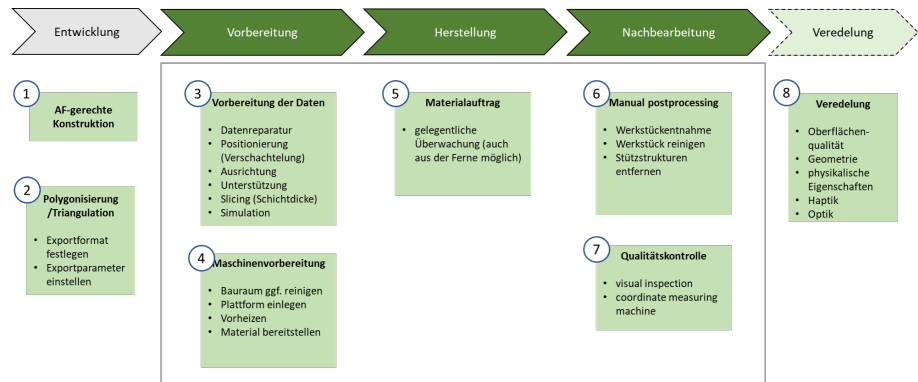


Abbildung 32: Prozesskette Additive Fertigung

Abbildung 33 zeigt die Hauptunterschiede zwischen konventioneller und additiver Fertigung in einer Übersicht.

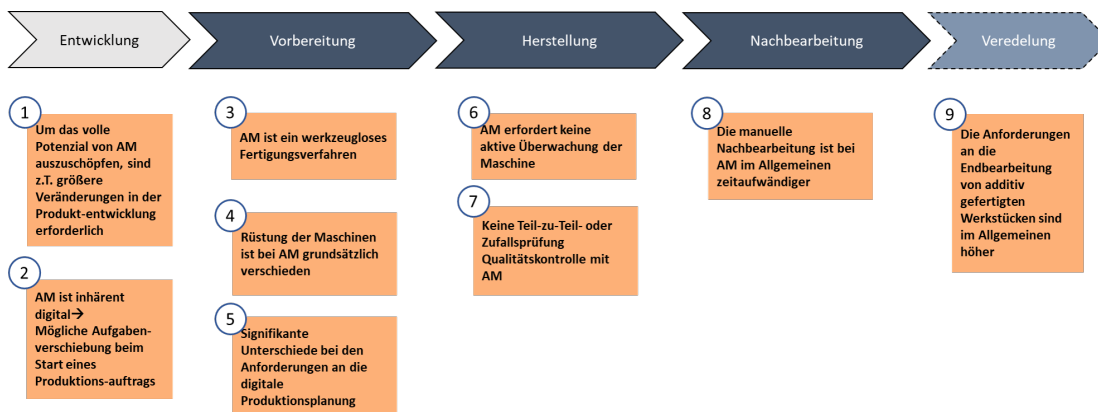


Abbildung 33: Übersicht der hauptsächlichen Unterschiede zwischen konventioneller und additiver Fertigung



In Abbildung 34 ist ein ausgewähltes Beispielprodukt zu sehen, an dem mehrere Potentiale der additiven Fertigung überprüft wurden. Es handelt sich dabei um ein Prüfmittel zur Toleranzprüfung von Einbaulagen von Bauteilen in der automobilen Endmontage. Mit einem hochsensiblen Messtaster wird der Abstand (Z-Achse) zweier Bauteile zueinander gemessen. Die Messung erfolgt mit einer Toleranz von 0,02mm bei einem Positionstoleranzfeld von 0,2mm. Diese Werte stellen hohe Anforderungen an die gewählte Fertigungsart der Bauteile.



Abbildung 34: Beispielprodukt Prüfmittel Verbaulage

In Abbildung 35 ist das additiv gefertigte Gehäuse des Prüfmittels zu sehen. Anhand dieses Teils soll beispielhaft ein Einblick in die Analyse der aufgenommenen Daten gegeben werden.

Die Gesamtdauer der additiven Fertigung ist im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsverfahren höher. Insbesondere die Produktionszeit ist bei der additiven Fertigung etwa fünfmal so lang. Diese längere Dauer wird jedoch durch niedrigere Kosten ausgeglichen, da die Produktion mit einer vergleichsweise kostengünstigen Fused Deposition Modeling (FDM)-Maschine durchgeführt wurde. Die mit dem Einsatz der FDM-Technologie verbundenen Kosteneinsparungen können die additive Fertigung zu einer attraktiveren Option für bestimmte Produktionsaufgaben machen.

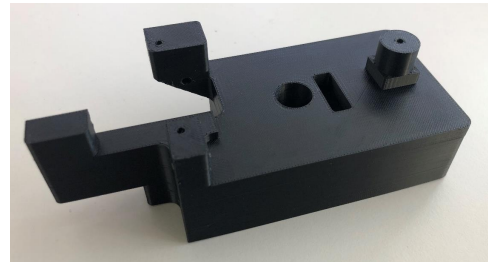


Abbildung 35: Additiv gefertigtes Gehäuse

Ein weiterer zu berücksichtigender Faktor ist der Materialabfall, der während des Produktionsprozesses entsteht. Konventionelle Fertigungsverfahren führen oft zu einem deutlich höheren Materialabfall als die additive Fertigung. Der Materialabfall in der konventionellen Fertigung kann bis zu zehnmal höher sein, was die additive Fertigung zu einer umweltfreundlicheren Option macht.

		Additiv	Konventionell
Organisation	Rüstzeit	7 min	45 min
	Wartezeit	34 min	0 min
	Produktionszeit	284 min	21 min
	Gesamtdauer	325 min	66 min
	Nebenkosten	8,97 €	4,72 €
	Gesamtfertigungskosten	44,63 €	149,60 €
	Gesamtkosteneinsparpotential	70%	AF
Material	Modellmaterial	84,7 cm ³	94,26 cm ³
	Verschnitt	28,2 cm ³	283,74 cm ³
	Materialverbrauch (gesamt)	112,9 cm ³	378 cm ³
	Materialkosten	20,30 €	1,7 €
	Recyclinganteil Modellmaterial	27,70 cm ³	0,00 cm ³
	Recyclinganteil Stützmaterial	15,06 cm ³	0,00 cm ³
Energie	Energieverbrauch	2,00 kwh	2,59 kwh
	Energiekosten	0,61 €	0,79 €
	Einsparpotential	23%	AF
Emission	THG Emissionen	0,97 kg	1,26 kg

Abbildung 36: Vergleichstabelle Produktionsverfahren

Neben den niedrigeren Kosten und dem geringeren Materialabfall ist die additive Fertigung hier auch energieeffizienter als herkömmliche Verfahren. Während die Produktionszeit bei der additiven Fertigung etwa 13,5-mal höher ist, ist der mit diesem Verfahren verbundene höhere Energieverbrauch im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren immer noch geringer. Dies macht die additive Fertigung zu einer nachhaltigeren Option für Produktionsaufgaben, die einen hohen Energieverbrauch erfordern.

Insgesamt ist es wichtig, die Kompromisse zu berücksichtigen, die sowohl mit den herkömmlichen als auch mit den additiven Fertigungsverfahren verbunden sind. Während die Gesamtdauer der additiven Fertigung höher sein kann, machen die

niedrigeren Kosten und der geringere Materialabfall sowie die verbesserte Energieeffizienz sie in einigen Fällen zu einer attraktiveren Option. Unternehmen sollten die Eignung der additiven Fertigung für ihre speziellen Bedürfnisse sorgfältig prüfen und dabei alle relevanten Faktoren berücksichtigen, um eine fundierte Entscheidung über die beste Produktionsmethode für ihre Anforderungen zu treffen. Die Daten sind in Abbildung 36 tabellarisch dargestellt.

Der Use Case wurde außerdem in den im Rahmen des Projekts entwickelten Leitstand integriert. Dort können beispielsweise historische Daten übersichtlich eingesehen werden (siehe hierzu Abbildung 37).

Außerdem sind im Leitstand durch weitere Hinweise und Erkenntnisse zu finden, die im Laufe des Projekts deutlich geworden sind. Diese wurden außerdem in Handlungsempfehlungen übersetzt, die für die zukünftige Entscheidung über das anzuwendende Fertigungsverfahren wichtige Unterstützung bieten können. Die Hinweise sind dabei den Fertigungsprozessschritten zugeordnet.



Abbildung 37: Darstellung im Leitstand

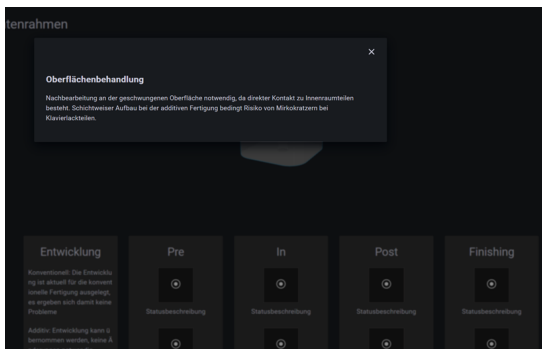


Abbildung 38: Info-Pop-Ups im Leitstand

Ein Beispiel für einen Hinweis im Prozessschritt „Finishing“ bei einer Einpresshilfe für Leuchtenrahmen ist folgendes:

„Nachbearbeitung an der geschwungenen Oberfläche notwendig, da direkter Kontakt zu Innenraumteilen besteht. Schichtweiser Aufbau bei der additiven Fertigung bedingt Risiko von Mikrokrazern bei Klavierlackteilen.“

Im Leitstand wird dieser Hinweis als Pop-Up Fenster im jeweiligen Prozessschritt bei Klick angezeigt (siehe Abbildung 38)

Insgesamt konnte im Rahmen des Projekts eine umfangreiche Datenbasis ausgewertet werden um die Potentiale der additiven Fertigung im Kontext der Ultraeffizienz zu bewerten und Entscheidungsgrundlagen zu schaffen, die bei der Auswahl des Fertigungsverfahrens unterstützen.

6 Disseminierung (AP 5)

Ziele

Das Ziel des AP 5 ist die Verbreitung der Ergebnisse des Forschungsprojekts durch Veröffentlichungen in wissenschaftlichen und industrienahen Medien. Zudem soll eine Dokumentation konzipiert werden, die die zukünftige Integration von weiteren Use Cases und Ultraeffizienzcentren sicherstellt.

Ergebnisse

Im Laufe des Projekts wurden Projektergebnisse in peer-reviewed Fachartikel veröffentlicht:

- Kuhlmann, Timm; Zeiser, Reinhard; Hohmann, Andrea; Sauer, Alexander: Wie effizient sind gleichspannungsversorgte Maschinen? Methode zur Identifikation des Energieeffizienzpotenzials durch Umrüstung von Wechselspannung (AC) auf Gleichspannung (DC). In: Zeitschrift für Fabrikbetrieb (ZWF), Jahrg. 117 (2022)/12. Berlin. 2022
- Dierolf, Christian & Sauer, Alexander. (2021). Automatisierte KI-basierte Leckage-Erkennung: Leckage-Management-Service für Druckluftmaschinen. 152-158. 10.37544/1436-4980-2021-03.
- Dierolf, Christian & Sauer, Alexander. (2021). Methoden zur Erkennung von Druckluftleckagen/Automated detection of compressed air leaks. wt Werkstattstechnik online. 111. 37-43. 10.37544/1436-4980-2021-01-02-41.
- Zimmermann, N., Lentjes, J., Schaper, S., Werner, A.: Comparison of process chains of additive and conventional manufacturing, ICPR 26, Taiwan 2021

Auf folgenden Websites ist das Projekt vertreten:

- Veröffentlichung auf [ultraeffizienzfabrik.de](https://ultraeffizienzfabrik.de/ultraeffizienz/aktuelle-projekte/aufbau-eines-hybriden-zentrums-fuer-ultraeffizienzfabriken/) (<https://ultraeffizienzfabrik.de/ultraeffizienz/aktuelle-projekte/aufbau-eines-hybriden-zentrums-fuer-ultraeffizienzfabriken/>)
- Aktualisierung der IPA-Website zur Ultraeffizienzfabrik (<https://www.ipa.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/die-ultraeffizienzfabrik.html>)
- Veröffentlichung auf der Website des Campus Schwarzwald (<https://www.campus-schwarzwald.de/forschungs-und-foerderprojekte/ultraeffizienzfabrik>)
- Newsletter des Campus Schwarzwald (<https://www.campus-schwarzwald.de/newsletter/>)
- S-TEC als Projekt des Zentrums für Ultraeffizienz (<https://s-tec.de/projekte/hybrides-uef-zentrum-aufbau-eines-hybriden-zentrums-fuer-ultraeffizienzfabriken/>)
- Pressemitteilung zu Druckluft (<https://www.ipa.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen.html?cp=2&offset=10>)

In der Projektlaufzeit wurden folgende weitere öffentlichkeitswirksame Präsentationen und Vorträge gehalten:

- Vortrag „Die Ultraeffizienzfabrik – Verlustfrei produzieren“ auf dem Forum Produktion 2022 am 25.5.2022 in Wien (<https://www.ffg.at/forumproduktion2022>)
- Vortrag auf dem IZS Open Campus Day am 26.06.2022
- Digitales S-TEC Spitzentreffen 2021: Transformation: NOW & NEXT! (<https://s-tec.de/spitzentreffen-transformation-now-next/>)
- FutureWork 360 Websession, 22.07.2020
- S-TEC Open Lab Days, 13.10.2020
- KEFF-Forum (Energieforum Rhein-Neckar), 18.11.2020
- Session Ultraeffizienz & Digitalisierung auf dem KONGRESS BW – Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaftskongress Baden-Württemberg, 7.10.2020



In Abstimmung mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg erfolgte außerdem im Schulterschluss mit dem Projekt »Ultraeffizienz4Industriegebiete« die öffentliche Abschlussveranstaltung. Ziel dieses Formates war es die Ergebnisse beider Projekte vorzustellen und zu demonstrieren, um die Potenziale für Folgeaktivitäten mit den anwesenden Vertretern aus Industrie und kommunaler Verwaltung zu diskutieren. Am 22.11.2022 erfolgte die hybride Veranstaltung am Fraunhofer-Institutszentrum Stuttgart, bei der auch Stimmen aus der Industrie eingeladen waren. Im Rahmen eines Workshops wurden Anknüpfungspunkte für die Verbreitung diskutiert und es erfolgte der Ausblick auf potenzielle Folgevorhaben, die dazu beitragen können, die Ergebnisse weiter in die Anwendung zu bringen.

Der Aufbau sowie die Bedienung des Leitstands wurde in gitlab sowie in einem separaten Dokument dokumentiert, um eine Erweiterung und Anpassung des Leitstands z.B. um weitere Use Cases sowie eine Übertragbarkeit der Erkenntnisse sicherzustellen.



7 Anhang

Lastenheft.....	44
Pflichtenheft.....	68





HYBRIDES UEF-ZENTRUM

Lastenheft



Universität Stuttgart



Inhalt

1	Einleitung.....	47
1.1	Projektbeschreibung und Projektbezug.....	47
1.2	Beschreibung des Ist-Zustands.....	48
1.2.1	Identifikation vorhandener Sensorik (Campus Schwarzwald)	48
1.2.2	Identifikation vorhandener Maschinenschnittstellen (Campus Schwarzwald).....	48
2	Konzept und Rahmenbedingungen	49
2.1	Ziele der Ultraeffizienz-Leitstände (UEF-Leitstände)	49
2.2	Benutzer / Zielgruppe	49
3	Beschreibung der funktionalen Anforderungen.....	52
3.1	Anforderungen an relevante Daten für die Auswertung und Optimierung im Sinne des Konzepts der Ultraeffizienz.....	52
3.1.1	Einbindung von Produktionsumgebungen.....	52
3.1.2	Einbindung der Use Cases.....	55
3.2	Anforderungen an die Systeme der UEF-Leitstände.....	58
3.2.1	OT/IT-Architektur Reallabor Campus Schwarzwald und UEF-Leitstände.....	58
3.2.1.1	Anforderungen an die Systeme der Ebenen der Automatisierungspyramide	58
3.2.1.2	Architektur der UEF-Leitstände.....	58
3.2.2	Anforderung an Endgeräte zur Nutzung der UEF-Leitstände	59
3.2.3	Sensorik im Kontext des Reallabors	60
3.3	Anforderungen an die Datenübertragung vom Campus Schwarzwald zu den UEF-Leitständen, mobilen Anwendung und zurück.....	61
3.4	Anforderungen an die nötige Genauigkeit eines optisch erfassten Fabrikabbilds nach Art und Aufgabe der Entität bzw. des betrachteten Prozesses.....	61
3.5	Anforderungen an das Datenformat.....	61
3.6	Anforderungen an ein ERP/MES-System	62
3.7	Anforderungen an die Schnittstellen	62
3.8	Anforderungen an die Cloud-Plattform	62
3.9	Anforderungen an die Software-Programme/Cloud-Services zur geplanten Datenauswertung in den fünf Handlungsfeldern der UEF	62
3.10	Anforderungen an die Dashboard-Lösung für die Leitstände und die mobile Anwendung (Visualisierung)	62
4	Beschreibung der nicht-funktionalen Anforderungen	65
4.1	Muss-Kriterien.....	65
4.1.1	Skalierbarkeit / Erweiterbarkeit.....	65
4.1.2	Leistung / Effizienz	65
4.1.3	Konnektivität.....	65
4.1.4	Zuverlässigkeit.....	65
4.1.5	Anpassbarkeit	66
4.1.6	Benutzbarkeit / Usability	66
4.1.7	Sicherheit	67
4.2	Soll-Kriterien	67
4.2.1	Anpassbarkeit	67
5	Dokumentation.....	68



1 Einleitung

1.1 Projektbeschreibung und Projektbezug

Die voranschreitende Digitalisierung ist ein wesentlicher Stellhebel zur Optimierung von Produktionsprozessen und somit auch zur Erreichung der ambitionierten Ziele der Ultraeffizienzfabrik. Durch die digitale Anbindung des Reallabors des Campus Schwarzwald an ein virtuelles Ultraeffizienz-ServiceCenter (USC) sollen die Ziele der Landesregierung Baden-Württemberg unterstützt werden. Durch den Pilotbetrieb zweier physischer Leitstände am Campus Schwarzwald und am Fraunhofer IPA soll die ökonomisch-ökologische Modernisierung der Wirtschaft vorangetrieben, neue Maßstäbe in der Produktion gesetzt und sowohl für Unternehmen als auch für Studierende der Ingenieursstudiengänge eine Erprobung digitaler Effizienztechnologien ermöglicht werden. Der erstmalige Aufbau des USC als ganzheitliches virtuelles Netzwerk zur Bereitstellung und Visualisierung von Daten mit dem Fokus auf alle fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienzfabrik dient als Blaupause für eine gezielte Digitalisierung von Produktionsprozessen vor dem Hintergrund der Schaffung einer nachhaltigen (ultraeffizienten) Wertschöpfung. Des Weiteren wird die Untersuchung neuer Fabrikkonzepte vorangetrieben und eine Optimierung aller relevanten Unternehmensbereiche hinsichtlich der Handlungsfelder der Ultraeffizienz adressiert. Durch die Umsetzung von beispielhaften Use Cases wird darüber hinaus der Zugang sowohl von Studierenden als auch von Mitarbeitern speziell kleiner und mittelständischen Unternehmen (KMU) zu Forschungseinrichtungen fokussiert und somit der Austausch und die intensive Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschung gestärkt. Durch die Möglichkeit der Bearbeitung einer spezifischen Themenstellung und der Erprobung der digitalen Effizienztechnologien wird darüber hinaus auch eine Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit Baden-Württembergs erreicht. Wegweisende Fortschritte im Bereich der digitalen Effizienztechnologien werden im Zuge des beschriebenen Projektvorhabens durch die digitale Vernetzung und ganzheitlichen Optimierung von realen Produktionsprozessen nach dem Leitbild der Ultraeffizienz erreicht. Hierfür bietet der Campus Schwarzwald beste Voraussetzungen und wird nach Umsetzung der im Rahmen dieses Projektvorhabens beschriebenen Maßnahmen als erstes physisches Zentrum für Ultraeffizienz eine hohe Sichtbarkeit erreichen. Als Vorreiter und Vorbild für Industrieunternehmen wird das Konzept der Ultraeffizienz-Leitstände über die Region hinaus und auch über die Projektlaufzeit hinaus als Best-Practice-Beispiel von hoher Relevanz sein. Die Möglichkeit der Integration weiterer Ultraeffizienzzentren oder einzelner Demonstrationsprojekte über das Ultraeffizienz-ServiceCenter in den physischen Ultraeffizienz-Zentral-Leitstand (UZL) wird über die Projektlaufzeit hinaus grundlegende Beiträge zur Realisierung des Leitbilds einer ultraeffizienten Produktion leisten. Abbildung 1 illustriert den Zusammenhang.



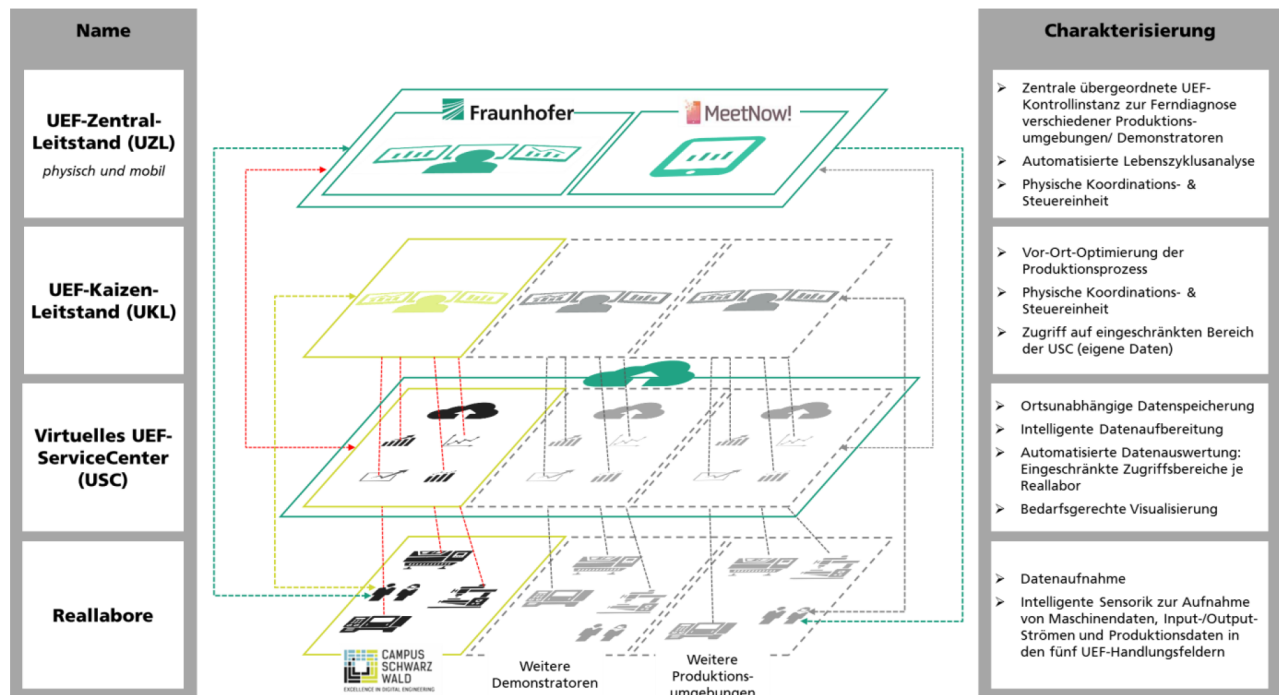


Abbildung 39: Anbindung des Reallabors des Campus Schwarzwald an ein virtuelles Ultraeffizienz-Service-Center (USC)
(Quelle: Rahmenplan „20190718_Vorläufiger Rahmenplan Zentrum Ultraeffizienz.pdf“)

1.2 Beschreibung des Ist-Zustands

1.2.1 Identifikation vorhandener Sensorik (Campus Schwarzwald)

Sensorik im Maschinenkontext:

Die Identifikation der vorhandenen Sensorik im Bezug zu den im Campus Schwarzwald-Reallabor vorhandenen Maschinen kann erst nach Rückmeldung zum versendeten Maschinendatenformular der jeweiligen Unternehmen, welche Maschinen in das Campus Reallabor eingebracht haben oder werden, vorgenommen werden.

1.2.2 Identifikation vorhandener Maschinenschnittstellen (Campus Schwarzwald)

Aktuell werden die vorhandenen Maschinenschnittstellen vom Campus Schwarzwald bei den Unternehmen, welche Maschinen in das Reallabor des Campus Schwarzwald eingebracht haben oder einbringen werden, abgefragt und werden in einer neuen Version dieses Lastenhefts vermerkt.

Jedoch kann mit einer hohen Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die verbreitetsten Maschinendatenschnittstellen, wie OPC/UA, MQTT, EtherCAT, IO-Link und/oder Profinet als Schnittstellen identifiziert werden.

2 Konzept und Rahmenbedingungen

2.1 Ziele der Ultraeffizienz-Leitstände (UEF-Leitstände)

Es sollen, wie in Abbildung 1 dargestellt, drei Leitstände aufgebaut werden – der UEF-Kaizen-Leitstand (UKL) und der physische sowie mobile UEF-Zentral-Leitstand (UZL).

Gemäß der SMART-Kriterien werden folgende Ziele für die Ultraeffizienz-Leitstände definiert:

- Anbindung des Reallabors am Campus Schwarzwald sowie der Use Cases
- Möglichkeit der Anbindung weiterer Demonstratoren
- Aufzeigen von Optimierungspotentialen und Handlungsempfehlungen entlang der fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienzfabrik
- Anzeige des aktuellen Status der Produktion zur Veranschaulichung zentraler Aspekte der Ultraeffizienzfabrik
- Einsatz für Schulungszwecke und universitäre Lehre

2.2 Benutzer / Zielgruppen

Im Folgenden wurden die Benutzer der Leitstände definiert:

- **Administrator**
- **Controller / Data Scientist**
- **Management**
- **Maschinenbediener**
- **Schulungsteilnehmer/ Student**

Eine Übersicht der definierten User Stories mit ihren Funktionen ist in Abbildung 1 und 2 zu finden. Die detaillierten User Stories mit Anforderungen können dem Anhang entnommen werden.



User Story Mapping
UEF-Zentrum

Version 1
29.05.2020

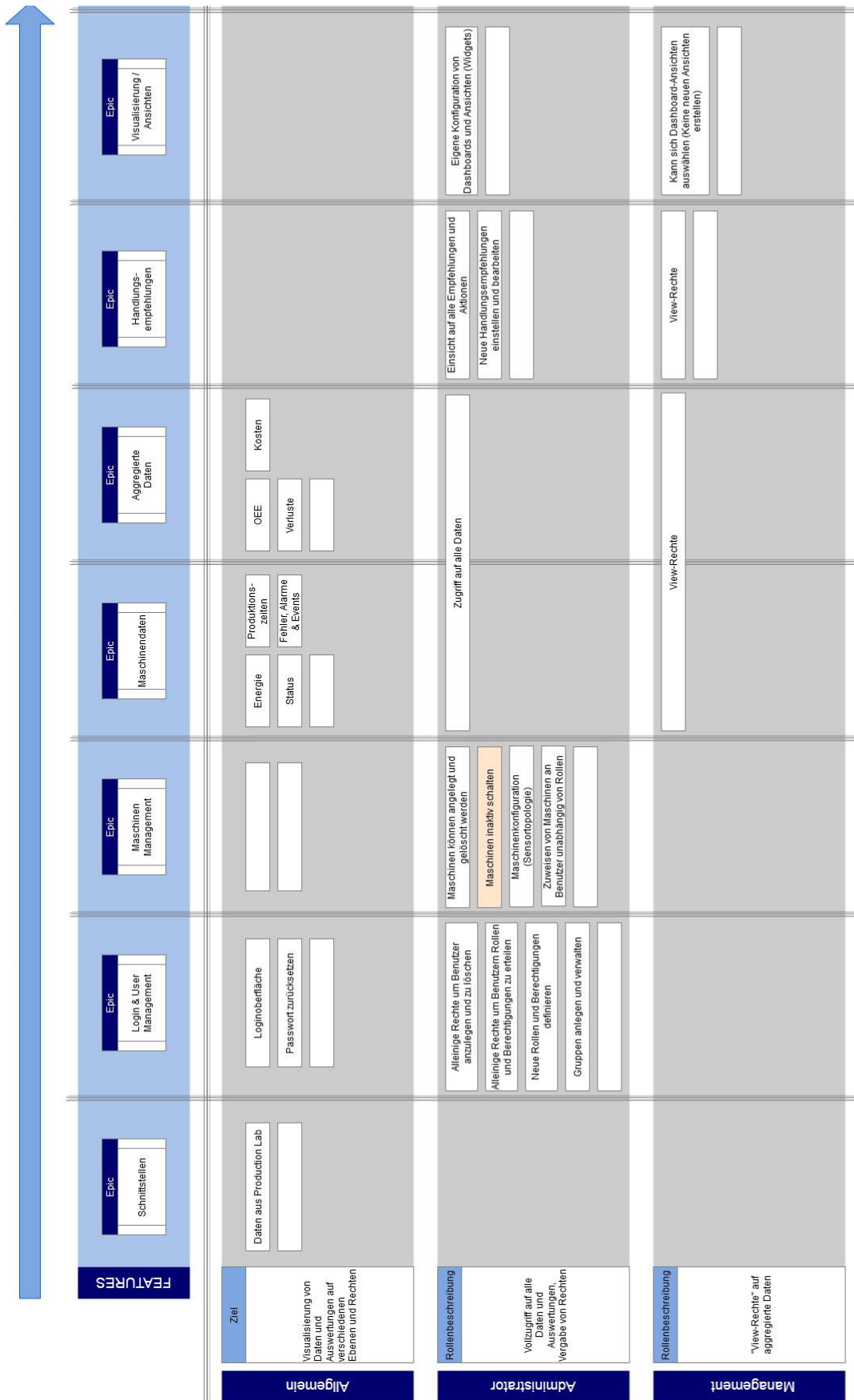


Abbildung 40: Überblick über die User Stories (1/2)



User Story Mapping
UEF-Zentrum

Version 1
29.05.2020

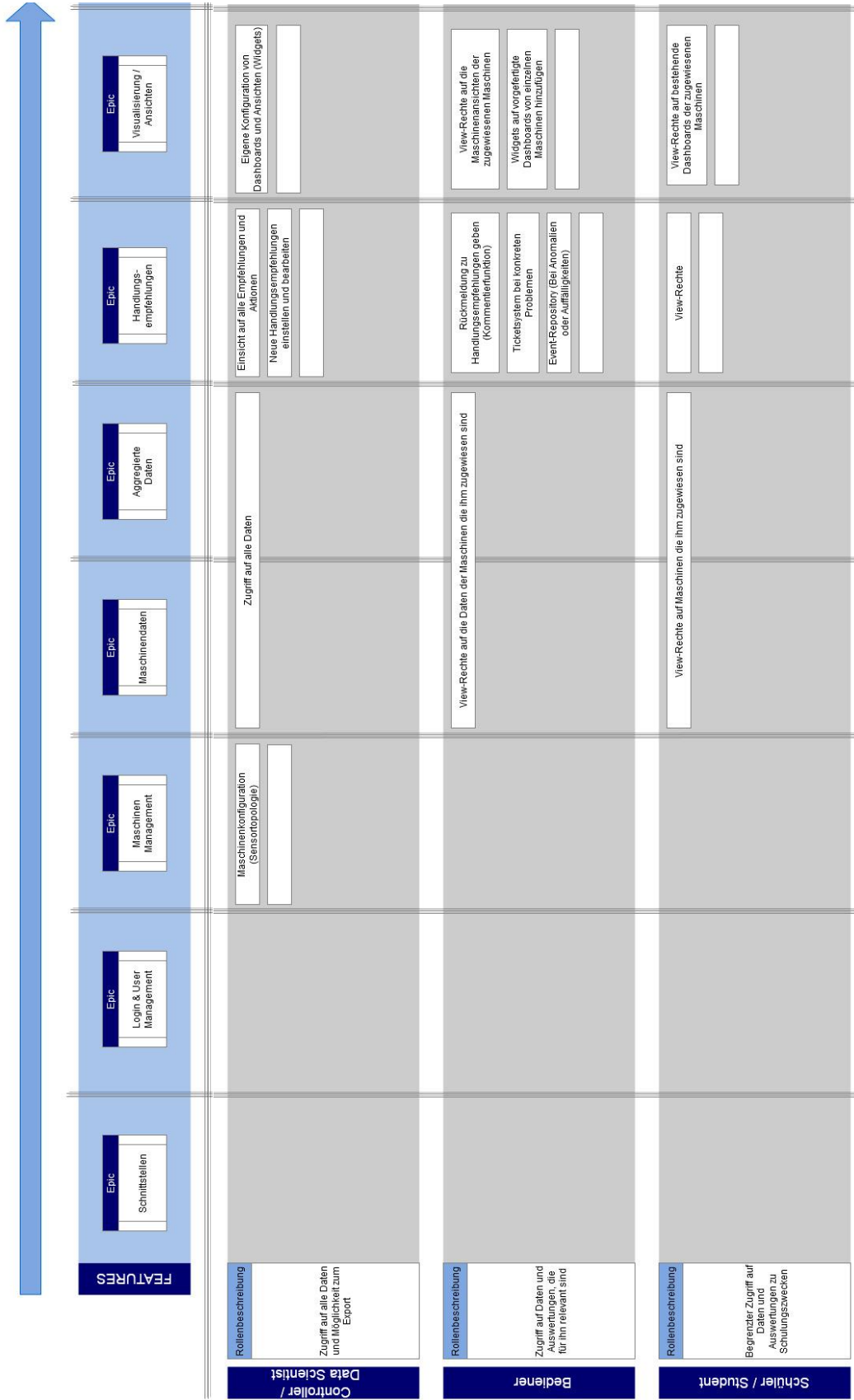


Abbildung 41: Überblick über die User Stories (1/2)



3 Beschreibung der funktionalen Anforderungen

3.1 Anforderungen an relevante Daten für die Auswertung und Optimierung im Sinne des Konzepts der Ultraeffizienz

Im Folgenden werden die Anforderungen an relevante Daten für die Auswertung und Optimierung im Sinne der Ultraeffizienz für die Leitstände detailliert. Hierbei wird zwischen der Einbindung von Produktionsumgebungen (Kapitel 3.1.1) und Use Cases (Kapitel 3.1.2) unterschieden.

In den folgenden Tabellen werden aufgeteilt nach den Handlungsfeldern die möglichen Auswertungen, die die Leitstände abbilden sollen, und die dazu benötigten Daten aufgelistet. Zusätzlich kann aus den Tabellen abgelesen werden, ob Bezüge der benötigten Daten zu einem Auftrag hergestellt und auf welchen Ebenen diese Daten erhoben werden müssen. Die Ebenen sind wie folgt definiert:

- **Fabrik:** Die Systemgrenze umschließt das gesamte Fabrikgebäude inkl. unterstützender Bereiche bzw. Peripherie (Lüftung etc.). Im Fall des Campus Schwarzwald beinhaltet dieses das gesamte Gebäude des Campus Schwarzwald. Beispiel: Gesamtenergieverbrauch am Campus Schwarzwald
- **Produktion:** Die Produktion beinhaltet konkret alle Anlagen, die zur Produktion genutzt werden. Im Fall des Campus Schwarzwald bedeutet dies, dass alle Anlagen im Reallabor gemeinschaftlich betrachtet werden. Beispiel: Gesamtenergieverbrauch aller Anlagen im Reallabor
- **Anlage:** Eine Anlage kann einzeln betrachtet werden. Beispiel: Energieverbrauch einer Anlage
- **Komponente:** Einzelne Komponenten einer Anlage können betrachtet werden. Beispiel: Energieverbrauch eines Elektromotors einer Anlage

Außerdem ist der zeitliche Bezug der Daten („aktuell“ oder „historisch“) angegeben und wird für die Produktionsumgebungen durch die Abtastraten, Latenz und boost rate weiter spezifiziert. „Aktuell“ bedeutet in diesem Fall, dass die Auswertungen zeitnah benötigt werden, um z.B. Maßnahmen für einen noch laufenden Prozess ableiten zu können. „Historische“ Daten sind nicht zeitkritisch, da mit diesen Daten nur Auswertungen nach Ablauf der Prozesse analysiert werden.

Die abschließende Bewertung gibt an, ob die Auswertungen in den Leitständen vorhanden sein müssen, sollen oder können, also ob dies eine Basis-, Leistungs- oder Begeisterungsanforderung darstellt.

3.1.1 Einbindung von Produktionsumgebungen

Für die Einbindung von Produktionsumgebungen ergibt sich entsprechend der vorangegangenen Beschreibung die folgende Tabelle mit den möglichen Auswertungen und benötigten Daten.



Tabelle 2: Mögliche Auswertungen, benötigte Daten und deren Spezifizierung

Handlungs-feld	Mögliche Auswertungen	Einheit	Benötigte Daten	Einheit	Ebene					zeitl.		Abstraten			Bewert.		
					Bezug Auftrag	Fabrik	Produktion	Anlage	Komponente	Aktuell	historisch	Latenz	Abstrakte	boost rate	MUSS	SOLLTE	KÖNNTE
Organisation	OEE	%	Betriebszeit (--> Geplante Nicht-Produktionszeit)	min	X	X	X	X		X			1/h		X		
			Zeiten von ungeplanten Stillständen (Störungen)	sec	X		X	X	X	X		<1s	eventbasiert		X		
			Leistungsverluste (--> geplante Menge & Ist-Menge)	sec	X		X	X		X		<1s	eventbasiert		X		
			QS-Verluste (niO)	sec	X		X	X		X		<1s	eventbasiert		X		
	Status der Anlagen	Bit	Rückmeldung (Produktion, Rüsten, Wartung, Störung)	Bit	X	X	X	X		X		<1s	eventbasiert		X		
			Aufschlüsselung Zeiten	%	Rüstzeiten	sec	X	X	X	X		X		<1s	eventbasiert		X
	Anfahr- / Abfahrzeiten	sec	X		X	X	X				<1s	eventbasiert					
	Wartungszeiten	sec	X		X	X	X	X	X		<1s	eventbasiert		X			
	Störungszeiten	sec	X		X	X	X	X	X		<1s	eventbasiert		X			
	Produktionszeiten	sec	X		X	X	X		X		<1s	eventbasiert		X			
	Wartezeiten	sec	X		X	X	X		X		<1s	eventbasiert		X			
	Produktionskosten (Herstellkosten)	€	Fertigungskosten	€	X		X	X		X		<1h	eventbasiert		X		
			Materialkosten	€	X		X	X		X		<1h	eventbasiert		X		
	Empfehlung eines optimalen Fertigungsprozesses	Bit	Energieverbrauch	kWh	X			X			X		15 min (4/h)	1Hz	X		
Materialverbrauch			kg, m³, l	X			X			X		15 min (4/h)		X			
Energie	Energieverbrauch	kWh	Energiemenge ¹	kWh	X	X	X	X	X	X		1/min	1Hz	X			
			Energieträger ²	%	X			X		X		1/min	1Hz	X			
	Energieverwendung	kWh	Elektrizität	kWh	X	X	X	X	X	X		1/min	1Hz	X			
			Druckluftverzeugung	kWh	X	X	X	X	X	X		1/min	1Hz	X			
			Heizen	kWh	X	X	X	X	X	X		1/min	1Hz	X			
			Kühlen	kWh	X	X	X	X	X	X		1/min	1Hz	X			
	Anteil erneuerbare Energien/Eigenerzeugung	%	Eigenerzeugung (erneuerbare Energien)	kWh	X	X		X		X		1/min	1Hz	X			
			Energieverbrauch	kWh	X	X		X		X		1/min	1Hz	X			
	Leistung	kW	kW	kW	X			X		X		1 kHz		X			
	Netzgrad/Wirkungsgrad n	%	Messung Energie-wandlungsstellen	η		X		X		X		<1s	50 Hz		X		
	DC Potential	kWh	Blindleistungsanteil	%		X		X			X		50 Hz			X	
	Druckluftverluste	%	Systemdruck	Pa	X	X	X	X		X			1/s	1kHz	X		
			Temperatur (Ansaugtemp. Kompressor)	°C	X	X	X	X		X			15 min (4/h)			X	
			Leckgerate	QL		X	X	X		X			1/min			X	
Volumenstrom			m³/min	X	X	X	X		X			1/min	<1Hz		X		
Peaks (Max. Volumenstrom)			-	X	X	X	X		X			15 min (4/h)			X		
Material	Materialverbrauch	kg	Materialmenge	kg	X		X	X	X			eventbasiert		X			
			Materialart ³	%	X		X	X		X			eventbasiert		X		
	Materialverwendung	%	Materialart ³	%	X		X	X		X			eventbasiert		X		
			im Endprodukt	kg	X		X	X		X			eventbasiert		X		
			Ausschuss	kg	X		X	X		X			eventbasiert		X		
	Hilfs- & Betriebsstoffe - Verbrauch	kg	Materialmenge	kg, l, m³	X	X	X	X		X			eventbasiert			X	
			Materialart ⁴	%	X	X	X	X		X			eventbasiert			X	
	Wasserverbrauch	l	Wassermenge	l/min	X		X	X		X			15 min (4/h)			X	
			Temperatur	°C	X		X	X		X			15 min (4/h)			X	
			Volumenstrom	l/min	X		X	X		X			15 min (4/h)			X	
			Leckage	l/min			X	X		X			15 min (4/h)			X	
	Anteil recycler Materialien (intern)	%	Materialmenge	kg	X	X	X	X		X			1 / Tag		X		
			Materialart ³	%	X	X	X	X		X			1 / Tag		X		
	Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien	%	Materialmenge	kg	X	X	X	X		X			eventbasiert		X		
Materialart ³			%	X	X	X	X		X			eventbasiert		X			
Anteil recycler Materialien (intern) - Hilfs- & Betriebsstoffe	%	Materialmenge	kg	X	X	X	X		X			1 / Tag		X			
		Materialart ⁴	%	X	X	X	X		X			1 / Tag		X			
Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien - Hilfs- & Betriebsstoffe	%	Materialmenge	kg	X	X	X	X		X			eventbasiert		X			
		Materialart ⁴	%	X	X	X	X		X			eventbasiert		X			



Tabelle 1 (Fortsetzung): Mögliche Auswertungen, benötigte Daten und deren Spezifizierung

Handlungs-feld	Mögliche Auswertungen	Einheit	Benötigte Daten	Einheit	Bezug Auftrag	Ebene				zeitl.		Abtastraten			Bewert.				
						Fabrik	Produktion	Anlage	Komponente	Aktuell	historisch	Latenz	Abtastrate	boost rate	MUSS	SOLLTE	KÖNNTE		
Emissionen	THG-Emissionen (Scope 1 & 2)	CO2-Äq.	Energiemenge	kWh	X			X				1/min	1Hz	X					
			Energieträger ²	%	X	X	X		X				1/min	1Hz	X				
			Strommix	%	X	X				X				1/min	1Hz	X			
			Emissionsfaktor	CO ₂ -Äq./kWh	X	X				X				1/min	1Hz	X			
	Schallemissionen	dB	Lärmpegel	dB	X			X		X		48 kHz			X				
	Abwasser	l	Abwassermenge	l/min	X	X	X		X			15 min (4/h)				X			
			Volumenstrom	l/min	X	X	X		X				1/min				X		
	Grauwasser	l	Grauwassermenge	l/min	X	X	X		X			15 min (4/h)				X			
			Volumenstrom	l/min	X	X	X		X				1/min				X		
	Erschütterung einer Anlage	m/s ²	Vibration	a (m/s ²)	X			X	X	X		eventbasiert	10kHz		X				
	Geruch	ppm	Gassensor	ppm	X		X	X		X		eventbasiert						X	
	Elektromagnetische Strahlung	V/m	Messgerät	V/m				X		X		eventbasiert						X	
	Gasemissionen	ppm	CO2	ppm	X		X			X		eventbasiert						X	
			NH3	ppm	X		X			X		eventbasiert						X	
			Nox	ppm	X		X			X		eventbasiert						X	
			SO2	ppm	X		X			X		eventbasiert						X	
			NMVOG	ppm	X		X			X		eventbasiert						X	
FCKW			ppm	X		X			X		eventbasiert						X		
Abfall	kg	stofflich verwertbarer Abfall	kg	X	X	X			X		1 / Tag				X				
		energetisch verwertbarer Abfall	kg	X	X	X			X		1 / Tag				X				
		Abfall zur Beseitigung	kg	X	X	X			X		1 / Tag				X				
		gefährlicher Abfall	kg	X	X	X			X		1 / Tag				X				
Wärmeemissionen	K	Temperatur	K	X	X	X	X	X		1/min	1kHz			X					
Mensch/Personal	Raumklima	Bit	Temperatur	°C	X		X		X		1/min				X				
			Luftfeuchte	rF	X		X		X		1/min					X			
			CO2-Gehalt	ppm	X		X			X		1/min				X			
			Kohlenmonoxid	ppm	X		X			X		1/min				X			
			Feinstaub	Partikel/m ³	X		X			X		1/min				X			
	Krankheitstage (Gesundheitsstatus)	d	Krankheitstage	d			X				1/Tag				X				
	Arbeitsstunden	h	Arbeitsstunden	h				X		X	1/Tag				X				
	Ergonomische Aspekte		Bewegungsanalysen	s/ J	X	X	X			X	1/s				X				
	Psychische Belastung	Bit	Stresslevel (Puls, Schweiß, etc.)	t.b.d.	X	X	X		X		1/min				X				
			Lärmpegel	db	X		X		X		1/min					X			
			Lichtsensoren (Farben)	lx						X		1/min				X			
			Luftqualität	ppm	X		X			X		1/min				X			
	MA- Verfügbarkeit	Bit		t.b.d.			X		X		15 min (4/h)				X				
	MA-Matching	Bit	MA-Verfügbarkeit	t.b.d.			X	X	X		15 min (4/h)				X	X			
			MA-Fähigkeit	t.b.d.	X		X	X	X		eventbasiert					X			
	MA-Zufriedenheit		Abfrage/Umfrage	t.b.d.			X	X		X	1/Monat							X	
	Arbeitsunfall	m/s ²	Beschleunigung	m/s ²			X	X		X		eventbasiert				X			
Persönliche Schutzausrüstung	bool		bool			X	X	X	X		eventbasiert						X		

¹ Auf Komponentenebene nicht generell benötigt. Spätere Spezifikation, für welche Komponenten diese Daten benötigt und ggf. mit Zusatzsensorik erhoben werden.

² Einteilung der Energieträger: Erdgas, Heizöl, Kohle, Fernwärme, Elektrizität, sonstige

³ Einteilung der Materialarten: Eisenwerkstoffe, Nichteisenwerkstoffe, Halbleiter, anorganische nichtmetallische Werkstoffe (Keramik, Glas), Polymere - Erdölbasiert, Polymere - biobasiert, Naturstoffe (Mineralien, Holz, Grafit)

⁴ Einteilung der Materialart (Hilfs- & Betriebsstoffe): Kühl- & Schmierstoffe, Reinigungsmittel, Verpackung, Sonstige



3.1.2 Einbindung der Use Cases

Die Use Cases der AP 4.1 bis 4.5 sollen ebenfalls in die UEF-Leitstände eingebunden werden. Soweit möglich soll hier analog zu den Produktionsumgebungen eine Anbindung mit realen Daten erfolgen. Nur falls dieses nicht möglich sein sollte, wird auf die Darstellung der Use Cases in Form von Szenarien zurückgegriffen. In den folgenden Tabellen werden die Auswertungen und Daten dargestellt, die durch die Use Cases in den Leitständen abgebildet werden sollen. Beim Use Case 4.2 Ultraefficient Plant Simulation handelt es sich um eine Simulationsfabrik, sodass hier dieselben Auswertungen und Daten abgebildet werden sollen, wie in einer realen Produktionsumgebung. Daher wird für diesen Use Case auf Tabelle 1 verwiesen.

Tabelle 3: Auswertungen und benötigte Daten des Use Cases Smart Maintenance (AP 4.1)

Handlungs- feld	Mögliche Auswertungen	Benötigte Daten	Ebene				zeitl.		Bewertung		
			Fabrik	Produktion	Anlage	Komponente	Aktuell	historisch	MUSS	SOLLTE	KÖNNTE
Organisation	Darstellung des "Gesundheits"- zustand der Produktionsmaschine	Liste mit möglichen Zuständen (muss demnächst gewartet werden, Stillstand, "Alles ok")			X	(X)	X		X		
	Status der Anlagen (aus OEE-Sicht)	Rückmeldung (Produktion, Rüsten, Wartung, Störung)			X		X		X		
	Aufschlüsselung Zeiten	Rüstzeiten			X		X		X		
		Wartungszeiten			X	X	X		X		
		Störungszeiten			X	X	X		X		
		Produktionszeiten			X		X		X		
		Wartezeiten			X		X		X		
	Auswertung der Störungszeiten, z.B. MTTR, MTBF; Top 10 Störungen	Start und Ende der Störung			X			X	X		
	Darstellung der Störungshistorie	Liste unstrukturierter Daten			X	X		X	X		
Darstellung der Lösungshistorie	Liste unstrukturierter Daten			X	X		X	X			
Mensch/ Personal	Visualisierung / live Bild des Mixed reality / VR / AR – Service	Live Bild / Stream			X		X		X		



Tabelle 4: Auswertungen und benötigte Daten des Use Cases Intelligente Druckluft (AP 4.3)

Handlungs- feld	Mögliche Auswertungen	Benötigte Daten	Ebene				zeitlich		Bewertung		
			Fabrik	Produktion	Anlage	Komponente	Aktuell	historisch	MUSS	SOLLTE	KÖNNTE
Organisation	OEE	Betriebszeit (→ Geplante Nicht-Produktionszeit)			X		X				X
		Zeiten von ungeplanten Stillständen (Störungen)			X		X				X
		Leistungsverluste (→ geplante Menge & Ist-Menge)			X		X				X
		QS-Verluste (niO)			X		X				X
	Aufschlüsselung Zeiten	Rüstzeiten			X		X			X	
		Wartungszeiten			X		X			X	
		Störungszeiten			X		X			X	
		Produktionszeiten			X		X			X	
		Wartezeiten			X		X			X	
	Energie	Energieverbrauch	Druckluftverbrauch (kWh/Nm³)			X		X		X	
Druckluftverluste		Systemdruck	X	X	X		X			X	
		Temperatur (Ansaugtemp. Kompressor)	X	X	X		X				X
		Leckagerate	X	X	X		X		X		
		Volumenstrom	X	X	X		X		X		
		Peaks (Max. Volumenstrom)	X	X	X		X			X	
Effizienzpotential		Druckluftverbrauch			X				X		
		Druckluftverluste / Leckagerate			X		X		X		
Material	Materialverluste	Ausschuss			X		X				X
		Verschnitt			X		X				X
Emissionen	THG-Emissionen (Scope 1 & 2)	Energiemenge			X		X			X	
		Energieträger ²	X		X		X				X
		Strommix	X				X				X
		Emissionsfaktor	X				X			X	
Schallemissionen	Lärmpegel			X		X			X		
Mensch/ Personal	Persönliche Schutzausrüstung	Einsatz von Gehörschutz			X			X			X
	Krankheitstage			X							X
	Arbeitsstunden für Leckagebehebung					X					X

Tabelle 5: Auswertungen und benötigte Daten des Use Cases Gleichstromfabrik (AP 4.4)

Handlungsfeld	Mögliche Auswertungen	Benötigte Daten	Ebene				zeitlich		Bewertung		
			Fabrik	Produktion	Anlage	Komponente	Aktuell	historisch	MUSS	SOLLTE	KÖNNTE
Orga	Wartungsaufwand	Wartungszeiten			X	X		X			X
Energie	Leistung	Spannung im kHz-Bereich	X	X	X	X	X		X		
		Strom im kHz-Bereich	X	X	X	X	X		X		
	Darstellung Wandlungsverluste/Wandlungseffizienz	Wandlungsstellen AC/DC	X	X	X			X	X		
		Verluste	X	X	X	X	X		X		
Lastfluss Zeitspannen und Produktionsverfahren	Leistung (Wandlungsstellen)		X	X		X		X			
	Energie (Wandlungsstellen)		X	X		X		X			
Material	Anlagenverschleiß	benötigtes Wartungsmaterial			X			X	X		
Emissionen	Elektromagnetische Emissionen				X		X				X
		Energiemenge			X		X				X
	THG-Emissionen (Scope 1 & 2)	Energieträger ²	X		X		X				X
		Strommix	X				X				X
		Emissionsfaktor	X				X				X
Mensch/Personal	Arbeitssicherheit	Gefährungsbeurteilungen	X	X				X		X	
	Mitarbeiter-Kompetenzen	zusätzlich benötigte Schulungen	X	X				X		X	

Tabelle 6: Auswertungen und benötigte Daten des Use Cases Additive Fertigung (AP 4.5)

Handlungsfeld	Mögliche Auswertungen	Benötigte Daten	Ebene				zeitlich		Bewertung		
			Fabrik	Produktion	Anlage	Komponente	Aktuell	historisch	MUSS	SOLLTE	KÖNNTE
Organisation	Produktionskosten (Herstellkosten)	Fertigungskosten		X	X		X		X		
		Materialkosten		X	X		X		X		
	Aufschlüsselung Zeiten	Rüstzeiten	X	X	X		X		X		
		Wartungszeiten	X	X	X	X	X		X		
		Störungszeiten	X	X	X	X	X		X		
		Produktionszeiten	X	X	X		X		X		
		Wartezeiten	X	X	X	X	X		X		
	Empfehlung eines optimalen Fertigungsprozesses	Energieverbrauch			X			X	X		
Materialverbrauch				X			X	X			
Energie	Energieverbrauch (kWh)	Energiemenge ¹	X	X	X	X		X	X		
		Energieträger ²			X			X	X		
Energiekosten				X			X		X		
				X			X		X		
Material	Materialverbrauch	Materialmenge		X	X		X		X		
		Materialart ³		X	X		X		X		
	Abfall			X			X		X		
	Materialkosten			X			X		X		
	Recyclingfähigkeit des Materials			X			X		X		
Emissionen	CO2-Emissionen	Energiemenge			X	X	X		X		
		Energieträger	X		X		X		X		
		Strommix	X				X		X		
		Emissionsfaktor	X				X		X		
	Weitere Emissionen	Ultrafeine Partikel			X			X		X	
Schallemissionen	Lärmpegel			X			X		X		
Wärmeemissionen	Temperatur			X			X		X		
Mensch/Personal	Mitarbeiter-Kompetenzen		X					X		X	
	Personalkosten		X					X		X	
	Rüstzeiten		X					X	X		



3.2 Anforderungen an die Systeme der UEF-Leitstände

3.2.1 OT/IT-Architektur Reallabor Campus Schwarzwald und UEF-Leitstände

Zur Erfüllung der Anforderungen an das Gesamtprojekt und an die Systeme der UEF-Leitstände muss es möglich sein, über die Ebenen der klassischen Automatisierungspyramide (siehe Kap. 3.2.1.1) hinweg, Daten von Maschinen und Anlagen, sowie weiterer Sensoren (z.B. physikalische Messgrößen aus der Umwelt des Reallabors, wie Temperatur und Schalldruckpegel) auch mit einer höheren Abtastrate, bzw. zeitlichen Auflösung in den Leitständen zu verarbeiten und zu visualisieren. Dies wird z.B. für die Nutzerrolle des Data Scientist benötigt, um Analysen von Fehlerbildern und Optimierungsmaßnahmen durchführen zu können.

Um diesen Ansatz zu realisieren, wird die in Kap. 3.2.1.2 dargestellte OT/IT-Architektur herangezogen.

3.2.1.1 Anforderungen an die Systeme der Ebenen der Automatisierungspyramide

Feldebene:

In der Feldebene befinden sich die Sensoren und Aktoren in den jeweiligen Maschinen und werden an der jeweiligen Maschinen-SPS oder Maschinen-IPC angebunden. Ebenfalls befinden sich einzelne Sensoren (z.B. für Temperatur, Luftfeuchte) in der Laborhalle. Diese müssen über Kupferleitungen (Industrial Ethernet) oder Funkanwendungen (WLAN, 4G, 5G) mittels Standardprotokollen (OPC/UA, MQTT, EtherCAT, ...) an die Cloud angebunden werden, um die akquirierten Daten sinnvoll weiterverarbeiten zu können.

Steuerungsebene:

In der Steuerungsebene laufen die Steuerung und Regelung der Maschinenseitigen Sensoren und Aktoren (I/Os) zusammen und stellen relevante Daten über Standardprotokolle (OPC/UA, MQTT, EtherCAT, ..) an die Cloud bereit. Die Anbindung geschieht hier primär über Kupferleitungen (Industrial Ethernet)

Prozessleitebene:

In der Prozessleitebene werden Prozesse und Teilprozesse bedient, überwacht und ausgeführt. Des Weiteren wird hier die Messwertüberwachung durchgeführt. Die Anbindung an die Cloud – und damit an die Daten der anderen Ebenen – erfolgt über ein Daten-Gateway. Die Leitstände (USC, UKL, UZL, siehe hierzu Abbildung 5) müssen auf spezifizierte Daten dieser Ebene zugreifen können. Dazu sind diese Daten in die Cloud zu spiegeln.

Betriebsleitebene:

Auf der Betriebsleitebene werden mittels eines MES-Systems (Manufacturing Execution System) die Produktionsfeinplanung, die Produktionsdatenerfassung, das Material-Management, sowie das Qualitätsmanagement durchgeführt. Das MES-System muss auf die leitstandrelevanten Daten in der Cloud (sowohl Rohdaten als auch aufbereitete Daten) zugreifen können und gleichzeitig spezifizierte Daten in der Cloud bereitstellen. Die Leitstände (USC, UKL, UZL, siehe hierzu Abbildung 5) müssen auf diese Daten zugreifen können.

Unternehmensebene:

Auf der Unternehmensebene werden mittels eines ERP-Systems (Enterprise-Resource-Planning) folgende Funktionsbereiche abgedeckt:

- Bedarfsermittlung
- Materialwirtschaft (Beschaffung, Lagerhaltung, Disposition)
- Produktion, bzw. Produktionsplanung und -steuerung
- Finanz- und Rechnungswesen
- Controlling
- Personalwirtschaft
- Stammdatenverwaltung
- Produktdatenmanagement
- Dokumentenmanagement

Das ERP-System muss spezifizierte Daten in der Cloud zur Verfügung stellen, die Leitstände (USC, UKL, UZL, siehe hierzu Abbildung 5) müssen auf diese Daten zugreifen können.

3.2.1.2 Architektur der UEF-Leitstände

Die Systeme, welche für die Befähigung der Funktionalität der Ultraeffizienz-Leitstände genutzt werden, müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Hohe Verfügbarkeit (99,9%)



- Informationssicherheit (IT-Security)
- Flexibilität/ Konnektivität (jede Maschine, Sensor, Aktor) muss universell anbindbar sein

In *Abbildung 42* ist das in vorgestellte Zusammenspiel aus UEF-Leitständen, UEF-Servicecenter (USC) und Reallaboren nochmals verdeutlicht. Wesentlicher Aspekt ist die zur Erreichung der geforderten Flexibilität notwendigen Überwindung der klassischen Automatisierungspyramide. Alle beteiligten Systeme oder Teil-Systeme müssen die Möglichkeit haben, miteinander zu kommunizieren. Die gesamte UEF-Kommunikation wird über die Cloud erfolgen, dazu ist eine Anbindung der Systeme an die Cloud notwendig. Dies wird durch einfache Edge-Devices realisiert, welche durch Software auf Ihre jeweilige Aufgabe individualisiert werden. Folgende Aufgaben können durch die Edge-Devices übernommen werden: die Anbindung von zusätzlicher oder vorhandener Sensorik, von Maschinensteuerungen und von anderen Systemen (im Bild „Data Acquisition“), das Zwischenspeichern und Weiterleiten von Daten in die und aus der Cloud (im Bild „Data Management“) und die Realisierung der Funktionen des UEF-Servicecenters (Im Bild „Analysis and Preprocessing“), das dadurch selbst zu einem virtuellen System wird. Das UEF-Servicecenter übernimmt ebenfalls die Funktionen zum Preprocessing der Daten für die Frontends der Leitstände. Die Darstellung der Edge-Devices in *Abbildung 42* muss nicht ihrer tatsächlichen Anzahl entsprechen, da bei ausreichender datentechnischer Absicherung der Einzelfunktionen (zum Beispiel durch Kapselung der Funktionen in separaten Docker-Systemen) ein physisches Edge-Device auch mehrere Rollen einnehmen kann.

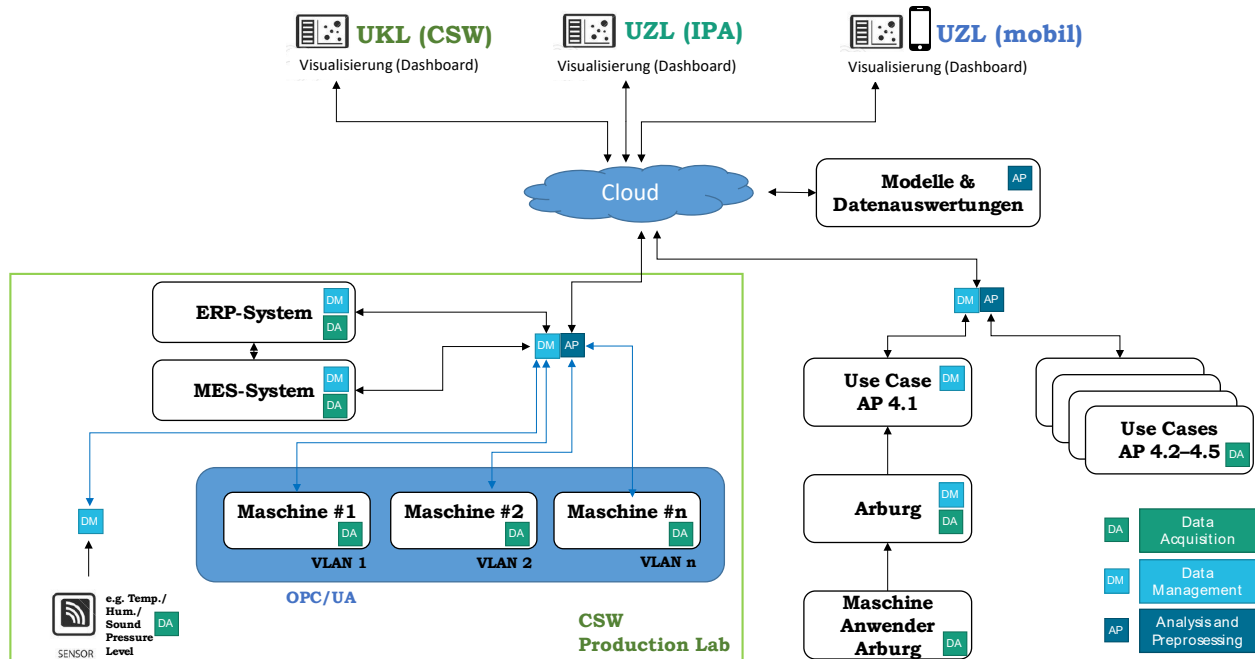


Abbildung 42: Darstellung der Architektur für die Leitstände des Zentrums für Ultraeffizienzfabriken (Quelle: Campus Schwarzwald / Universität Stuttgart IFF / Fraunhofer IPA)

3.2.2 Anforderung an Endgeräte zur Nutzung der UEF-Leitstände

Zur Nutzung der UEF-Leitstände sind zwei Versionen vorzusehen:

- Nutzung auf PC/Notebook/Digital Whiteboard
- Nutzung auf mobilen Endgeräten (mittels mobiler App)

Für beide Versionen müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- Internetfähiges Gerät (WLAN, Ethernet)

3.2.3 Sensorik im Kontext des Reallabors

Im Rahmen des Anforderungsworkshops, der am 04.03.2020 stattfand, konnten folgende Anforderungen im Kontext der Gebäudeinfrastruktur identifiziert werden:

Handlungsfeld	Auswertung	Benötigte Daten	Benötigte Sensorik	
Organisation	-	-	-	
Energie	Energieverbrauch [kWh]	Energieverbrauch (elektr. Energie)	Energiezähler	
	Elektr. Leistung	Elektr. Leistung	Leistungsmesser (in Energiezähler integriert)	
	Nutzungsgrad/ Wirkungsgrad	Messung an Energiewandlungsstellen	Messwandler	
	Gesamtenergieverbrauch	Verbrauch der Peripherie, z.B. Lüftung	Energiezähler in Elektro-Hauptverteilung Labor	
	Blindleistungsanteil	Blindleistung Q	Blindleistungsmessgerät (in Energiezähler integriert)	
	Druckluftverbrauch und -verluste	Gesamtvolumenstrom (Druckluft)	Temperatur (Druckluft)	Temperatursensor
			Systemdruck (Druckluft)	Drucksensor(en)
			Leckagerate (Druckluft)	Berechnung
			Peaks (Druckluft)	Drucksensor(en)
	Kühlwasserverbrauch	Gesamtvolumenstrom (Kühlwasser)	Details siehe Handlungsfeld „Material“	
Material	Kühlwasserverbrauch und -verluste	Gesamtvolumenstrom (Kühlwasser)	Volumenstromsensor	
		Temperatur (Kühlwasser)	Temperatursensoren (VL/RL)	
		Wassermenge (Kühlwasser)	Wasserzähler	
		Leckage (Kühlwasser)	t.b.d.	
Emissionen	Schallemissionen	Schalldruckpegel	Messmikrofon, Schalldruckpegelmessgerät	
	Abwasser/ Grauwasser	Abwassermenge	t.b.d. (kein MUSS-Kriterium)	
	Geruch	t.b.d.	Gassensor	
	Elektromagnetische Strahlung	t.b.d.	Messgerät (kein MUSS-Kriterium)	
	Gasemissionen	CO ₂ -Sensor, Gassensor		
Wärmeemissionen	Temperatur	Temperatursensor(en), Wärmebildkamera		
Mensch/Personal	Raumklima	Temperatur	Temperatursensor(en)	
		relative Luftfeuchte	Hygrometer	
		CO ₂ -Gehalt	CO ₂ -Sensor	
	Psychische Belastungen	Stresslevel (Puls, Schweiß, etc.)	t.b.d.	
		Lärmpegel	Siehe Handlungsfeld „Emissionen“	
		Lichtsensor (Farben)	Photodetektor	
	Luftqualität (Raumklima und Geruch)	Siehe Handlungsfeld „Emissionen“		



3.3 Anforderungen an die Datenübertragung vom Campus Schwarzwald zu den UEF-Leitständen, mobilen Anwendung und zurück

Die für die Datenübertragung zur Verfügung stehende Bandbreite muss mindestens 3 gleichzeitige Videostreams und parallel dazu die Übertragung von Daten (Rohdaten, verdichtete Daten) der Maschinen und Anlagen zulassen, d.h. für Videostreams in HD-Auflösung (HEVC) muss mindestens 36 MBit/s vorhanden sein. Um die für interaktive Anwendungen niedrigen Latenzzeiten sicher einhalten zu können, müssen entsprechende Reserven vorgesehen werden. Eventuell mögliche Reduktionen der Bandbreitenanforderungen durch Reduzierung der übertragenen Auflösung – insbesondere an Mobilgeräte – dürfen dabei keine Berücksichtigung finden.

Für alle Verbindungen gilt generell, dass sie nach dem aktuellen Stand der Technik verschlüsselt werden müssen, d.h. im Moment mindestens TLSv1.2 und möglichst Verzicht auf als „weak“ eingestufte Ciphers.

3.4 Anforderungen an die nötige Genauigkeit eines optisch erfassten Fabrikabbilds nach Art und Aufgabe der Entität bzw. des betrachteten Prozesses

In der Ultraeffizienzfabrik sollen Maschinen und Prozesse sinnvoll über einem optischen Messsystem erfasst werden. Je nach Maschine und Prozess sind unterschiedliche Genauigkeiten, Auflösungen und Aktualisierungsraten in Hinblick auf die Anwendungsbeispiele erforderlich. Folgende Tabelle unterteilt die Anforderungen basierend auf standardisierten Prozessanforderungen an das optische Messsystem in 5 Genauigkeitsklassen.

Genauigkeitsklasse	Genauigkeit / Auflösung	Aktualisierungsrate	Anwendungsbeispiele
I	< 0,5 mm: < ± 0,025 mm	> 30 FPS abhängig von Prozessgeschwindigkeit	Fügeprozesse oder Positionierung von Werkstücken für Greifprozesse Qualitätssicherungsprozesse wie z.B. Rundheitsüberprüfung
II	0,5 mm – 3 mm: ± 0,025 mm < ± 1,5 mm	> 30 FPS abhängig von Prozessgeschwindigkeit	Greifprozesse oder Positioniergenauigkeit von Werkstücken innerhalb einer Taktlinie
III	> 3 mm – 1 cm: ± 1,5 mm < ± 0,5 cm	> 20 FPS abhängig von Prozessgeschwindigkeit	Positioniergenauigkeit bei der Übergabe von Material über FTS
IV	> 1 cm – 5 cm: ± 0,5 cm < ± 2,5 cm	> 60 FPS > 100 FPS bei Sicherheitskritischen Anwendungen	Erfassung menschlicher Bewegungen
V	> 5 cm – 20 cm: ± 2,5 cm < ± 20 cm	> 20 FPS	Logistische Prozesse – Zwischenlagerung Material

3.5 Anforderungen an das Datenformat

Die auszutauschenden Daten sollen grundsätzlich in dokumentierten und standardisierten Formaten erfolgen, dabei ist auf die Vollständigkeit zu achten (z.B. XML nur mit entsprechender DTD, oder, vorzugsweise XML Schema/XSD).



3.6 Anforderungen an ein ERP/MES-System

Zur Erfüllung definierten Ziele der Ultraeffizienz-Leitstände muss es möglich sein das ERP/MES-System an eine beliebige Cloud-Lösung anzubinden, welches entsprechende Schnittstellen voraussetzt. Hierdurch sollen folgende Daten aus dem ERP/MES-System an die Cloud übertragen werden können:

- Spezifische Auftragsdaten (Produkt, Menge, ...)
- Daten zur Produktionsplanung und -steuerung (Arbeitspläne...)
- Daten über Mitarbeiterkapazitäten und -einsatzdaten
- Vorrats- und Lagerdaten inkl. Kosten

3.7 Anforderungen an die Schnittstellen

Es sollen die Standardschnittstellen zur datentechnischen Anbindung der Maschinen genutzt werden. Dies kann z.B. OPC/UA, MQTT sein.

3.8 Anforderungen an die Cloud-Plattform

Das UEF-Zentrum setzt auf Cloud-Dienste, um benötigte Rechenleistungen, Speicherkapazitäten und Applikationen bedarfsgerecht, flexibel und skalierbar bereitzustellen. Hierbei ist insbesondere auf die Einhaltung der Vorgaben des BSI zu achten. Darüber hinaus ist die Anpassbarkeit an die zu entwickelnden Lösungen des UEF Zentrum zu beachten, das gilt besonders für die zur Verfügung stehenden Schnittstellen. Cloud-Dienste mit der direkten Anbindungsmöglichkeit für industrielle Schnittstellenstandards wie OPC/UA, MQTT bzw. Lösungen wie EtherCAT sind zu bevorzugen.

Eine auf den europäischen Raum beschränkte und damit vollständig europäischem Recht unterworfenen Infrastruktur ist zu bevorzugen.

Für das Pflichtenheft sind mindestens die Prozeduren nach (BSI):

- OPS.2.2.M1 - Erstellung einer Cloud-Nutzungs-Strategie
- OPS.2.2.M2 - Erstellung einer Sicherheitsrichtlinie für die Cloud-Nutzung
- OPS.2.2.M3 - Service-Definition für Cloud-Dienste durch den Anwender
- OPS.2.2.M4 - Festlegung von Verantwortungsbereichen und Schnittstellen

und

- OPS.2.2.M7 - Erstellung eines Sicherheitskonzeptes für die Cloud-Nutzung

durchzuführen.

3.9 Anforderungen an die Software-Programme/Cloud-Services zur geplanten Datenauswertung in den fünf Handlungsfeldern der UEF

Für die Datenauswertung der Handlungsfelder wird teilweise zusätzliche Software verwendet, um den Aufwand der Auswertung deutlich zu reduzieren und auf gängige Methoden zurückzugreifen. Insbesondere für die automatisierte Lebenszyklusanalyse soll auf zusätzliche Software zurückgegriffen werden, um so die Handlungsfelder Material, Energie und Emissionen auszuwerten. Hierzu muss die einzusetzende Software eine Schnittstelle besitzen, um die vorhandenen Produktionsdaten strukturiert einlesen zu können. Im besten Fall können diese Daten ohne manuellen Aufwand, z.B. bei der Datenaufbereitung, eingelesen werden. Die Ergebnisse der Auswertungen müssen anschließend wieder in den Leitstand integriert werden können, sodass ein Export der Auswertungen möglich sein muss.

3.10 Anforderungen an die Dashboard-Lösung für die Leitstände und die mobile Anwendung (Visualisierung)

Die Dashboard-Lösung soll für den User folgende Möglichkeiten bieten:

1. zur Nutzung über einen beliebigen Browser (Edge, Firefox, Chrome...) mit Login für Computer, Laptops, digitale Whiteboards und
2. zur Nutzung auf mobilen Endgeräten per mobile App (iOS, Android) mit Login gestaltet werden.



- a. Die mobile Anwendung soll auf allen gängigen mobilen Geräten verwendet werden können. Sowohl Tablet als auch Smartphone sollen die Android und iOS Versionen der letzten 3 Jahre unterstützen.

Um die Anwendung nutzen zu können, muss die User-Datenbank angebunden werden, so dass die Login-Daten der Benutzer im Projekt gleich sind und die Daten sowie die Rollen und Rechte synchronisiert (zwischen stationärer und mobiler Anwendung) werden können. Außerdem ist eine Schnittstelle, wie in Punkt 3.3 *Anforderungen an die Datenübertragung vom Campus Schwarzwald zu den UEF-Leitständen, mobilen Anwendung und zurück* und 3.6 *Anforderungen an die Schnittstellen* erforderlich, um alle relevanten Daten in der App verfügbar zu haben.

Die Bedienung der Anwendung soll übersichtlich, ansprechend und benutzerfreundlich gestaltet werden. Hierbei soll ein entsprechendes, state-of-the-Art UX-Design zur Anwendung kommen, das eine Bedienung sowohl am PC im Browser mit Maus und auch auf mobilen Endgeräten mittels Touch erlaubt.

Jeder Benutzer erhält einen eigenen Login. Er kann sein Profil einsehen und findet dort alle wichtigen Informationen zu seinem Account, Datenschutz, Impressum und den Einstellungen der Anwendung. Außerdem kann der Nutzer zwischen den verschiedenen Leitständen wählen und erhält das jeweilige Dashboard des gewählten Leitstandes. Folgende Auswertungen sollen bei den jeweiligen UEF-Leitständen in ansprechenden Grafiken mit den relevanten Daten und Informationen angezeigt werden:

Organisation:

- OEE,
- Status der Anlagen,
- Aufschlüsselung Zeiten,
- Produktionskosten (Herstellkosten),
- Empfehlung eines optimalen Fertigungsprozesses

Energie:

- Energieverbrauch
- Energieverwendung
- Anteil erneuerbare Energien/Eigenerzeugung
- Leistung
- Netzgrad/Wirkungsgrad η
- DC Potential
- Druckluftverluste

Material:

- Materialverbrauch
- Materialverwendung
- Hilfs- & Betriebsstoffe-Verbrauch
- Wasserverbrauch
- Anteil recycelter Materialien (intern)
- Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien
- Anteil recycelter Materialien (intern) - Hilfs- & Betriebsstoffe
- Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien - Hilfs- & Betriebsstoffe

Emissionen:

- THG-Emissionen (Scope 1 & 2)
- Schallemissionen
- Abwasser
- Grauwasser



- Erschütterung einer Anlage
- Geruch
- Elektromagnetische Strahlung
- Gasemissionen
- Abfall
- Wärmeemissionen

Die Daten sollen dabei auf den verschiedenen Aggregationsebenen angezeigt werden:

- Fabrik
- Produktion
- Anlage
- Komponente

Der Nutzer kann sich hier aus der übergeordneten Ebene im Bedarfsfall in den Ebenen nach Unten bewegen um die Situation in den dargestellten Kennzahlen und Zeitverläufen analysieren und detaillieren zu können.

Eine weitere Funktion des Dashboards ist die sogenannte Drill-Down-Funktion, diese ermöglicht direkte Verlinkungen zu den einzelnen Maschinen aus dem Dashboard. Ist der Status einer Maschine nicht auf "Aktiv" gesetzt, soll es eine direkte Verlinkung auf die Ansicht der jeweiligen Maschine geben, so dass die Ursache für den Produktionsausfall direkt untersucht werden können.

Der Nutzer erhält zu jeder Kategorie (Organisation, Energie, Material, Emissionen) eine eigene Übersichtsseite und kann dort auswählen zu welchen Auswertungen er weitere Daten sehen möchte. Diese werden in einem Screen visualisiert und mit der Beschreibung des Diagramms (Anzeige der Daten) und den Daten, die der Auswertung zugrunde liegen dargestellt.

Bei Daten zum Personal müssen die entsprechenden Maßnahmen zum Datenschutz gewährleistet werden. Der Nutzer soll seine eigenen Daten zur Person einsehen können. Allerdings dürfen personenbezogene Daten nur anonymisiert weiterverwendet werden. Die Daten zur Person werden in einer separaten Ansicht visualisiert.

- Raumklima
- Krankheitstage
- Arbeitsstunden
- Ergonomische Aspekte
- Psychische Belastung
- MA- Verfügbarkeit (Urlaubs- / Abwesenheitszeiten)
- MA-Matching
- MA-Zufriedenheit
- Arbeitsunfall
- Persönliche Schutzausrüstung



4 Beschreibung der nicht-funktionalen Anforderungen

Die nicht-funktionalen Anforderungen werden im Folgenden in Themenschwerpunkten zusammengefasst. Ferner werden die Anforderungen in Muss- und Soll-Kriterien unterteilt.

4.1 Muss-Kriterien

4.1.1 Skalierbarkeit / Erweiterbarkeit

Kriterium	Beschreibung
Anbindbarkeit der Anlagen	Es muss möglich sein, alle vorhandenen Maschinen anbinden zu können. Weiterhin sollte dies nicht von der Maschinenschnittstelle abhängig sein, sondern das Anbinden unterschiedlicher Schnittstellen unterstützt werden. Außerdem sollen weitere Maschinen auch zu späterem Zeitpunkt noch hinzugefügt werden können.
Hinzufügen von Funktionen	Auch nach Aufnahme des Betriebs muss es möglich sein, weitere Datenfelder und Funktionen aufzunehmen, ohne dass dadurch der laufende Betrieb gestört wird.
Modularer Aufbau	Der Aufbau der Leitstände muss in Modulen gegeben sein, um das Hinzufügen weiterer Funktionalitäten sowie weitere Skalierbarkeit gewährleisten zu können.

4.1.2 Leistung / Effizienz

Kriterium	Beschreibung
„Echtzeit in Maßen“	Um das Aussprechen konkreter Handlungsempfehlungen zu ermöglichen, müssen Daten nahe Echtzeit zur Verfügung gestellt werden können. Dort, wo nicht kritische Informationen benötigt werden, können Daten auch mit geringerer Frequenz übermittelt werden (siehe auch Kapitel 3.1).
Ableitung von Handlungsempfehlungen	Eine der Kernfunktionen der Leitstände muss sein, basierend auf den zur Verfügung stehenden Daten dem Nutzer konkrete Handlungsempfehlungen zur Verbesserung von Leistung, Effizienz, Fehlerprävention und anderen Kriterien der Handlungsfelder der Ultraeffizienzfabrik auszusprechen. Dabei sollte es sich gewissermaßen um Schritt-für-Schritt-Anleitungen handeln, welche verständlich, einfach und nachvollziehbar für den Nutzer sind.

4.1.3 Konnektivität

Kriterium	Beschreibung
Schnittstellen	Die Leitstände müssen dazu in der Lage sein, verschiedene Schnittstellen für Maschinen und Software bedienen zu können sowie Daten aus verschiedenen Schnittstellen akzeptieren können.
Datentypen	Daten müssen in verschiedenen, universellen Typen zur Verfügung gestellt werden und in verschiedene Formate exportierbar sein, um eine Weiterverarbeitung zu ermöglichen. Weiterhin sollten Daten verschiedener Datentypen akzeptieren werden, um mit Blick auf die Skalierbarkeit mit möglichst vielen Typen von Maschinen und Schnittstellen arbeiten zu können.

4.1.4 Zuverlässigkeit

Kriterium	Beschreibung
Verfügbarkeit	Der Leitstand muss eine hohe Verfügbarkeit von mindestens 99,9% aufweisen. Dies bedeutet, dass die Leitstände auf allen Plattformen nahezu jederzeit erreichbar sein müssen.



Datenqualität	Aussagen über die Qualität der Daten müssen jederzeit möglich sein. Dies bedeutet, dass Angaben über die genaue Zusammensetzung der Daten gemacht werden können und wie die Messgenauigkeit eines Wertes im Verhältnis zu der Handlungsempfehlung steht. Weiterhin müssen Aussagen darüber getroffen werden, ob es sich um einen gemessenen Wert, einen berechneten Wert, interpolierte Daten etc. handelt.
----------------------	---

4.1.5 Anpassbarkeit

Kriterium	Beschreibung
Usermanagement	Der Leitstand muss über ein System verfügen, in welchem das Anlegen von Usertypen inklusive eines Zugriffsrechtssystems und eines Anmeldeterminals möglich ist (siehe auch User Stories im Anhang). Unterschieden werden müssen die Rollen: <ul style="list-style-type: none"> - Administrator - Maschinenbediener - Management - Controller / Data Scientist - Student / Schulung

4.1.6 Benutzbarkeit / Usability

Kriterium	Beschreibung
Erreichbarkeit	Das USC muss über alle Visualisierungen - den Kaizen-Leitstand vor Ort (UKL), den zentralen Ultraeffizienz-Leitstand (UZL) sowie über die mobile Applikation - jederzeit gut erreichbar sein und die notwendigen Daten, Auswertungen und Handlungsempfehlungen je nach angemeldetem User (vgl. Punkt 4.1.5) verfügbar machen.
Verständlichkeit	Im Rahmen der Usability muss eine verständliche Angabe von Schritten zur Fehlerbehebung oder -prävention sowie zur Verbesserung von Produktion und Effizienz vorgegeben werden (Handlungsempfehlung). Diese Handlungsempfehlungen sollten über einzelne Schritte zum gewünschten Ergebnis führen und dabei einfach, leicht nachvollziehbar und für den Anwender transparent sein. Die Benutzung des Leitstandes ebenso wie die Optimierungsvorschläge müssen transparent und leicht verständlich sein.
Plug & Play	Über ein Plug & Play Prinzip muss die Nutzung des Leitstandes nach der Einführung intuitiv und ohne umfangreiche Einrichtungsmaßnahmen durch den Nutzer erfolgen können. Das Integrieren neuer Maschinen oder Schnittstellen in den Leitstand sollte ebenfalls möglichst einfach gestaltet werden.
Reporting	Die Daten des Leitstandes müssen für Reporting- und Controllingzwecke in verschiedene Datenformate (vgl. Punkt 4.1.3) exportierbar sein, um sie zur weiteren Analyse und zu Kontrollzwecken weiterverarbeiten zu können.
Plausibilität	Der Leitstand muss über ein System zur Kontrolle von Plausibilität der Daten verfügen. So müssen bspw. Messtoleranzen berücksichtigt werden (vgl. auch Punkt 4.1.4). In diesem Zusammenhang muss das System, bevor eine Handlungsempfehlung gegeben wird, auch zwischen Korrelation und Kausalität unterscheiden können, falls Diskrepanzen in der Datenbasis errechnet werden.
Erfolgsrückmeldung	Nach Anwendung der Handlungsempfehlungen muss auch eine Rückmeldung zu Erfolg oder Misserfolg der Maßnahme erfolgen können.



4.1.7 Sicherheit

Kriterium	Beschreibung
Datenschutz	Es muss sichergestellt werden, dass die Daten innerhalb des Leitstands nicht durch Dritte eingesehen werden können. Dies gilt sowohl für den Datenschutz nach außen, sowie einen Schutz innerhalb, sodass Nutzer innerhalb des Usermanagements (vgl. Punkt 4.1.5) nicht auf Daten und Auswertungen zugreifen können, zu deren Einsicht ihnen keine Berechtigung erteilt wurde.
Informations-sicherheit	Die Daten innerhalb des Leitstandes müssen gegen einen Datenverlust abgesichert sein.

4.2 Soll-Kriterien

4.2.1 Anpassbarkeit

Kriterium	Beschreibung
Personalisierbarkeit	Mit Blick auf das Usermanagementsystem aus Punkt 4.1.5 sollte es auch möglich sein, den Leitstand je Nutzer zu personalisieren. Es soll ein Favoritensystem, mit welchem oft genutzt Auswertungen oder Abfragen schnell aufgerufen werden können, konfigurierbar sein.

5 Dokumentation

Die Dokumentation der Leitstände soll in zwei Teilen erfolgen. Zum einen soll dokumentiert werden, wie die Leitstände aufgebaut sind und welche Komponenten sie beinhalten, sodass ein Nachbau, Erweiterungen und Reparaturen ermöglicht werden. Dieses beinhaltet ebenfalls die Veröffentlichung des Quellcodes.

Zum anderen soll die Bedienung der Leitstände in einer Art Leitfaden beschrieben werden. Hierdurch soll sichergestellt werden, dass (neue) Anwender die Leitstände sachgemäß bedienen und alle Funktionen der Leitstände, inkl. der Funktionen aller unterschiedlichen Benutzergruppen, verwendet werden können.





HYBRIDES UEF-ZENTRUM

Pflichtenheft



Universität Stuttgart



Inhalt

1	Einleitung.....	72
1.1	Projektbeschreibung und Projektbezug.....	72
1.2	Ziele der Ultraeffizienz-Leitstände	5
1.3	Anwendungsbereiche	74
1.4	Benutzer / Zielgruppe	74
1.5	Betriebsbedingungen.....	74
1.6	Architektur der UEF-Leitstände.....	74
2	Datenherkunft bzw. Datenaufnahme	76
2.1	Vorhandene Maschinendaten und zusätzlich benötigte Sensorik im Reallabor des Campus Schwarzwald.....	76
2.1.1	ARBURG GmbH + Co KG, Spritzgießmaschine Allrounder 370 E 600-100 GOLDEN ELECTRIC.....	76
2.1.2	Robert Bürkle GmbH, Multilayer PCB-Presse.....	79
2.1.3	HOMAG Group AG, 5-Achs CNC-Holzbearbeitungszentrum.....	81
2.1.4	KOCH Pac-Systeme GmbH, Blisterverpackungsmaschine	85
2.1.5	J. Schmalz GmbH, intelligenter Vakuumsauggreifer ECBPi + Kollaborativer Roboter.....	87
2.2	Datenherkunft der Use Cases	89
3	Technische Spezifikationen	90
3.1	Modelle und Auswertungen (Ultraeffizienz-ServiceCenter)	90
3.1.1	Automatisierte Auswertung der Kennzahlen.....	90
3.1.2	Ultraeffizienz-Benchmark	94
3.1.3	Life Cycle Assessment (LCA).....	94
3.1.4	Weitere zusätzliche Software zur geplanten Datenauswertung.....	95
3.1.5	Projektion von situationsbezogenen Handlungsanweisungen	96
3.1.6	Kontextinformationen und spezielle Drilldowns für einzelne Kennzahlen	98
3.1.7	Handlungsempfehlungen anhand Realdaten CSW	99
3.1.8	Handlungsempfehlungen der Use Cases	100
3.2	Hardware der UEF-Leitstände.....	103
3.3	Datenübertragung.....	104
3.3.1	Datenübertragung vom Campus Schwarzwald zu den UEF-Leitständen, mobilen Anwendung und zurück	104
3.3.2	Datenübertragung von den Use Cases zu den UEF-Leitständen und zurück	105
3.4	Datenformat.....	108
3.5	Datenschnittstellen	108
3.5.1	Abgrenzung Frontend und USC.....	108
3.6	Cloud-Plattform	109
3.7	Dashboard-Lösung für die Leitstände und die mobile Anwendung (Visualisierung)	111
3.7.1	Genereller Aufbau der Visualisierung	111
3.7.2	Diagrammtypen für Dashboard	112
3.7.3	Diagrammtypen und Widgets anhand der Handlungsfelder	114
3.7.4	Diagrammtypen und Widgets für die Use Cases.....	116
3.7.5	Diagrammtypen und Widgets für den Ultraeffizienz-Benchmark.....	119
3.7.6	Drilldown für die Diagramme und Widgets	119
3.7.7	Aktualisierung der Auswertungen im Frontend.....	121
4	Teams und Schnittstellen	122
5	Projektplan	123



6 Dokumentation..... 125



1 Einleitung

1.1 Projektbeschreibung und Projektbezug

Die voranschreitende Digitalisierung ist ein wesentlicher Stellhebel zur Optimierung von Produktionsprozessen und somit auch zur Erreichung der ambitionierten Ziele der Ultraeffizienzfabrik. Durch die digitale Anbindung des Reallabors des Campus Schwarzwald an ein virtuelles Ultraeffizienz-ServiceCenter (USC) sollen die Ziele der Landesregierung Baden-Württemberg unterstützt werden. Durch den Pilotbetrieb zweier physischer Leitstände am Campus Schwarzwald und am Fraunhofer IPA soll die ökonomisch-ökologische Modernisierung der Wirtschaft vorangetrieben, neue Maßstäbe in der Produktion gesetzt und sowohl für Unternehmen als auch für Studierende der Ingenieursstudiengänge eine Erprobung digitaler Effizienztechnologien ermöglicht werden. Der erstmalige Aufbau des USC als ganzheitliches virtuelles Netzwerk zur Bereitstellung und Visualisierung von Daten mit dem Fokus auf alle fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienzfabrik dient als Blaupause für eine gezielte Digitalisierung von Produktionsprozessen vor dem Hintergrund der Schaffung einer nachhaltigen (ultraeffizienten) Wertschöpfung. Des Weiteren wird die Untersuchung neuer Fabrikkonzepte vorangetrieben und eine Optimierung aller relevanten Unternehmensbereiche hinsichtlich der Handlungsfelder der Ultraeffizienz adressiert. Durch die Umsetzung von beispielhaften Use Cases wird darüber hinaus der Zugang sowohl von Studierenden als auch von Mitarbeitern speziell kleiner und mittelständischen Unternehmen (KMU) zu Forschungseinrichtungen fokussiert und somit der Austausch und die intensive Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschung gestärkt. Durch die Möglichkeit der Bearbeitung einer spezifischen Themenstellung und der Erprobung der digitalen Effizienztechnologien wird darüber hinaus auch eine Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit Baden-Württembergs erreicht. Wegweisende Fortschritte im Bereich der digitalen Effizienztechnologien werden im Zuge des beschriebenen Projektvorhabens durch die digitale Vernetzung und ganzheitlichen Optimierung von realen Produktionsprozessen nach dem Leitbild der Ultraeffizienz erreicht. Hierfür bietet der Campus Schwarzwald beste Voraussetzungen und wird nach Umsetzung der im Rahmen dieses Projektvorhabens beschriebenen Maßnahmen als erstes physisches Zentrum für Ultraeffizienz eine hohe Sichtbarkeit erreichen. Als Vorreiter und Vorbild für Industrieunternehmen wird das Konzept der Ultraeffizienz-Leitstände über die Region hinaus und auch über die Projektlaufzeit hinaus als Best-Practice-Beispiel von hoher Relevanz sein. Die Möglichkeit der Integration weiterer Ultraeffizienzzentren oder einzelner Demonstrationsprojekte über das Ultraeffizienz-ServiceCenter in den physischen Ultraeffizienz-Zentral-Leitstand (UZL) wird über die Projektlaufzeit hinaus grundlegende Beiträge zur Realisierung des Leitbilds einer ultraeffizienten Produktion leisten. Abbildung 1 illustriert den Zusammenhang.



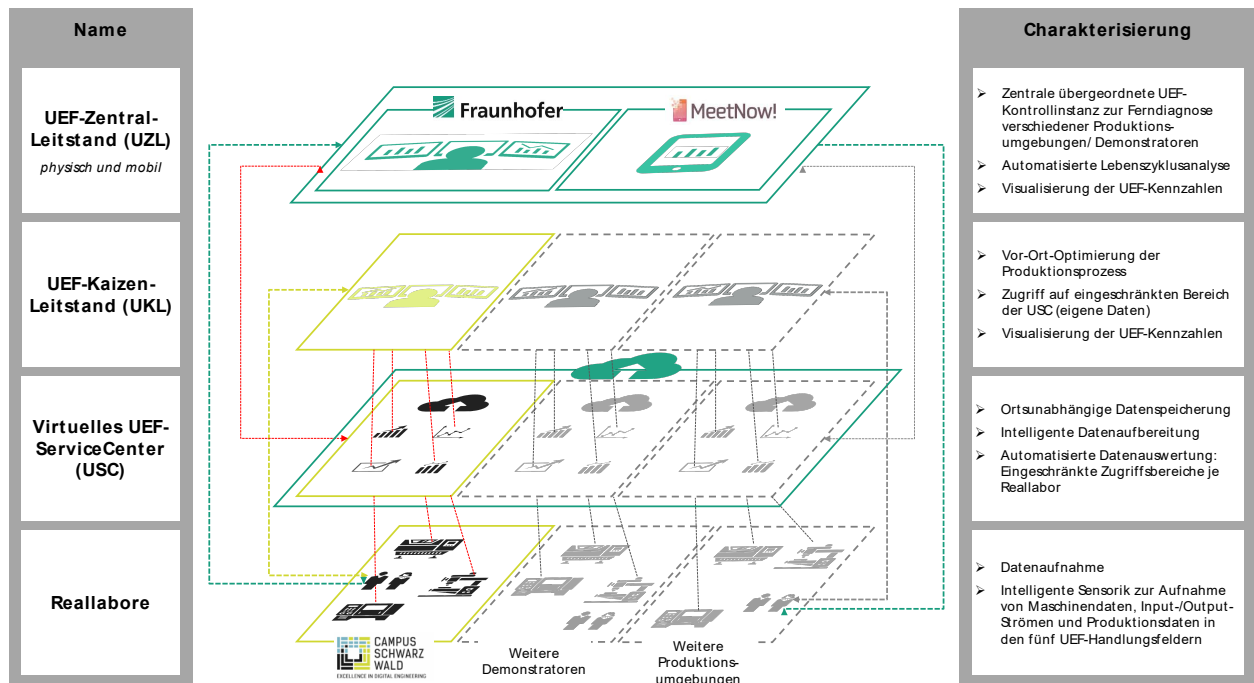


Abbildung 43: Anbindung des Reallabors des Campus Schwarzwald an ein virtuelles Ultraeffizienz-Service-Center (USC)

1.2 Ziele der Ultraeffizienz-Leitstände

Es sollen, wie in Abbildung 1 dargestellt, drei Leitstände aufgebaut werden – der UEF-Kaizen-Leitstand (UKL) und der physische sowie mobile UEF-Zentral-Leitstand (UZL).

Gemäß folgenden Kriterien werden folgende Ziele für die Ultraeffizienz-Leitstände definiert:

- Anbindung des Reallabors am Campus Schwarzwald sowie der Use Cases
- Möglichkeit der Anbindung weiterer Demonstratoren
- Aufzeigen von Optimierungspotentialen und Handlungsempfehlungen entlang der fünf Handlungsfelder der Ultraeffizienzfabrik
- Anzeige des aktuellen Status der Produktion zur Veranschaulichung zentraler Aspekte der Ultraeffizienzfabrik
- Einsatz für Schulungszwecke und universitäre Lehre
- Einbindung der Use Cases und Darstellung der zentralen Optimierungspotentiale innerhalb der Handlungsfelder. Folgende Potentiale/Verbesserungen werden in den Use Cases dargestellt:
 - Smart Maintenance: Steigerung der Effizienz des Produktionssystems nach den Maßgaben der Ultraeffizienzfabrik durch Integration aktueller IoT-Ansätze mit vorhandenen Support-Infrastrukturen des Maschinenherstellers
 - Ultraefficient Plant Simulation: Ermittlung der Ultraeffizienz-Potentiale mittels Kaizenmethoden und Abbildung in einer Fabriksimulation
 - Intelligente Druckluft: Steigerung der Ultraeffizienz im Bereich der Druckluft durch eine Entwicklung von neuen digitalen Services
 - Gleichspannungsfabrik: Ermittlung der Effizienzpotentiale einer Gleichstromenergieversorgung in der Produktion durch Entwicklung einer Bewertungsmethode und des dazu notwendigen Messgeräts
 - Additive Fertigung: Ermittlung von Ultraeffizienzpotenzialen bei der Nutzung von additiven Fertigungsverfahren und Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen zur Einführung von additiven Verfahren

Gemäß diesen Zielen der UEF-Leitstände ist eine aktive Steuerung und/oder Regelung von Maschinen und Anlagen explizit nicht vorgesehen.

1.3 Anwendungsbereiche

Gemäß den Zielen der UEF-Leitstände werden die Leitstände im Rahmen von Schulungen, universitärer Lehre und Demonstrationszwecken am Campus Schwarzwald und am Fraunhofer IPA eingesetzt. Gegebenenfalls werden die UEF-Leitstände auch zu weiteren Demonstrationszwecken auf Messen o.ä. aufgebaut. Hierbei sollen das Konzept der Ultraeffizienzfabrik und mögliche Verbesserungspotentiale (inkl. Use Cases) so dargestellt werden, dass dies für Unternehmensvertreter und Studenten einfach nachzuvollziehen ist und der Nutzen für eine Übertragung auf Unternehmen klar wird.

1.4 Benutzer / Zielgruppe

Wie im Lastenheft festgelegt, sind folgende die Benutzer der Leitstände definiert:

- **Administrator**
- **Controller / Data Scientist**
- **Management**
- **Maschinenbediener**
- **Schulungsteilnehmer/ Student**

1.5 Betriebsbedingungen

Die UEF-Leitstände werden in einer Büro- bzw. Hallenumgebung betrieben und auch in einer mobilen Version für Tablet oder Smartphone (Android, iOS) vorhanden sein. Diese sollten 24 Stunden/Tag und 7 Tage/Woche erreichbar sein.

1.6 Architektur der UEF-Leitstände

Die Abbildung 44 zeigt den generellen Aufbau der UEF-Leitstände. Die gesamte UEF-Kommunikation wird über die Cloud erfolgen, dazu ist eine Anbindung der Systeme an die Cloud notwendig. Dies wird durch einfache Edge-Devices realisiert, welche durch Software auf Ihre jeweilige Aufgabe individualisiert werden. Folgende Aufgaben können durch die Edge-Devices übernommen werden: die Anbindung von zusätzlicher oder vorhandener Sensorik, von Maschinensteuerungen und von anderen Systemen (im Bild „Data Acquisition“), das Zwischenspeichern und Weiterleiten von Daten in die und aus der Cloud (im Bild „Data Management“) und die Realisierung der Funktionen des UEF-Servicecenters (Im Bild „Analysis and Processing“), das dadurch selbst zu einem virtuellen System wird. Im Modul „Modelle und Datenauswertungen“ finden die Auswertungen zur Ermittlung von Verbesserungspotentialen und Handlungsempfehlungen statt, welche anschließend im Frontend visualisiert werden können. Die genauen Funktionen, welche in diesem Modul zu finden sind, werden im Kapitel 3.1 beschrieben.



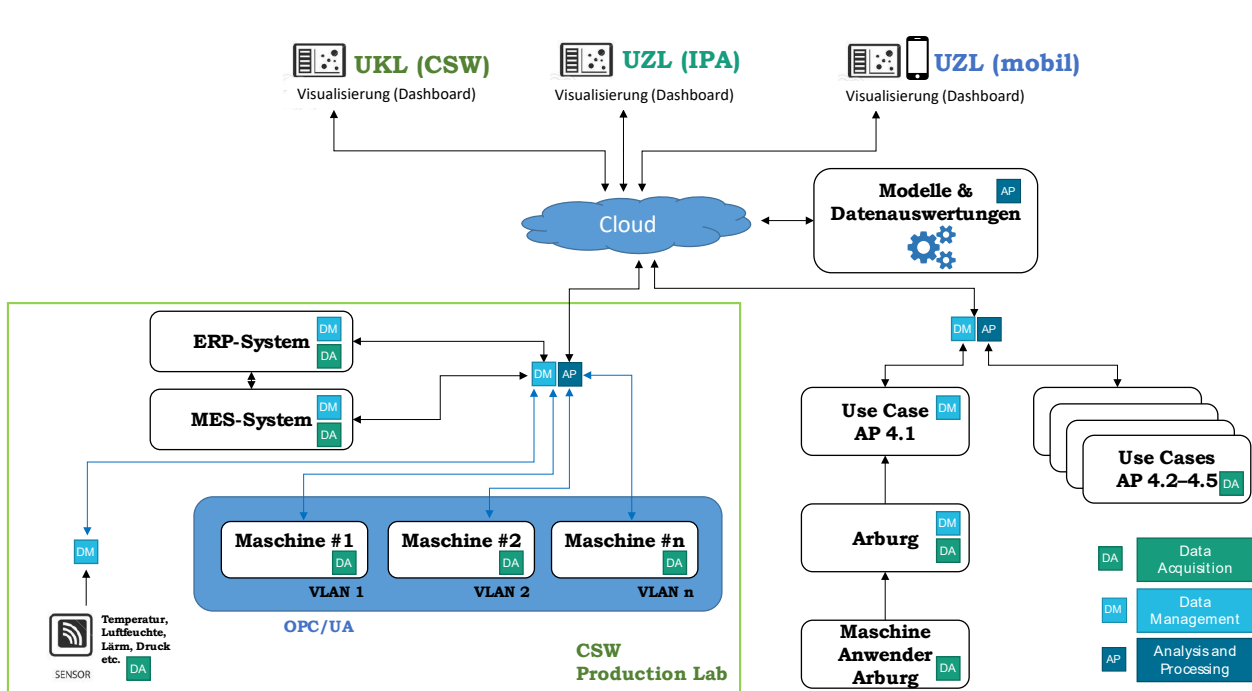


Abbildung 44: Architektur der UEF-Leitstände



2 Datenherkunft bzw. Datenaufnahme

2.1 Vorhandene Maschinendaten und zusätzlich benötigte Sensorik im Reallabor des Campus Schwarzwald

2.1.1 ARBURG GmbH + Co KG, Spritzgießmaschine Allrounder 370 E 600-100 GOLDEN ELECTRIC

Die verfügbaren Maschinendaten in den fünf Handlungsfeldern werden über OPC/UA ausgegeben. Davon sind aktuell noch Parameter offen (hinsichtlich nativer Bereitstellung und einer möglichen Anbindung an MES/ERP-Systeme) und gemeinsam mit dem Ansprechpartner der Firma ARBURG GmbH + Co KG zu klären. Diese werden nachgereicht.

	Benötigte Daten	Muss/ Soll	Maschinen- daten	Zusatzsensorik/ ERP/MES	Bislang unklar
Organisation	Betriebszeit (--> Geplante Nicht-Produktionszeit)	M			Daten aus MES?
	Zeiten von ungeplanten Stillständen (Störungen)	M			OPC/UA Rohdaten oder Arburg-xWorld EUROMAP
	Leistungsverluste (--> geplante Menge & Ist-Menge)	M			Maschine kann Sollstück kennen und Iststückzahl zu aktuellen Zeitpunkt (Das sind keine Leistungsverluste sind aktuelle Daten zum Abfragezeitpunkt/ EUROMAP 77
	QS-Verluste (niO)	M			Maschine kennt und zählt intern Schlechteile, wenn Maschinen interne Prozessüberwachung aktiv ist. Keine extern ermittelten QS Fehler / EUROMAP 77
	Rückmeldung (Produktion, Rüsten, Wartung, Störung)	M	OPC/UA Rohdaten		
	Rüstzeiten	M	OPC/UA Rohdaten		
	Anfahr- / Abfahrzeiten	?	OPC/UA Rohdaten		
	Wartungszeiten	M	OPC/UA Rohdaten		
	Störungszeiten	M	OPC/UA Rohdaten		
	Produktionszeiten	M	OPC/UA Rohdaten		
	Wartezeiten	M	OPC/UA Rohdaten		
	Fertigungskosten	M			Berechnung über Teilstückzahl



					* Schussgewicht * Materialpreis oder über Energie-messung (ALS oder xWorld) / EUROMAP 77"	
	Materialkosten	M		Energiemesssystem		
	Energieverbrauch	M		Energiemesssystem		
	Materialverbrauch	M				
Energie	Energiemenge	M		Energiemesssystem		
	Energieträger	M		Energiemesssystem		
	Energiequelle (z.B. Strommix)	M		ERP		
	Leistung (kW)	M		Energiemesssystem		
	Netzgrad/Wirkungsgrad n	M		Energiemesssystem		
	Energieverbrauch der Peripherie, z.B. Lüftung	S		Energiemesssystem		
	Blindleistungsanteil	S		Energiemesssystem		
	Druckluft - Systemdruck	S		Volumenstrom- sensor		
	Druckluft - Temperatur	S		Volumenstrom- sensor		
	Druckluft - Leckagerate	S	Berechnung in Edge-Cloud			
	Druckluft - Volumenstrom	S		Volumenstrom- sensor		
	Druckluft - Peaks	S	Berechnung in Edge-Cloud			
	Material	Materialmenge	M			Berechnung aus MES?
		Materialart	M			MES/ERP?
Materialmenge		M			Berechnung aus MES?	
Verschnitt		M			Anguss EUROMAP 77	
Ausschuss		M			Anfahrteile EUROMAP 77	
Wassermenge		S		Berechnung in Edge- Cloud aus Volumenstrommess ung (Integriert)		
Wasser - Temperatur		S		Temperatursensor		
Wasser - Volumenstrom		S				
Wasserverbrauch - Leckage		S		Volumenstrom- sensor		
Anteil recyclebare Materialien Beschreibung Material (Menge, Datenblatt,..)		M		ERP/MES		
recyclebare Materialien - Materialmenge		M			Berechnung aus MES?	
recyclebare Materialien - Materialart		M			MES/ERP?	



	recyclebare Materialien - Materialmenge	M			Berechnung aus MES?
	recyclebare Materialien - Verschnitt	M			Anguss EUROMAP 77
Emissionen	CO2-Emissionen - Energiemenge	M			Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Energieträger	M			Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Strommix	M			Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Emissionsfaktor	M			Daten von EVU (IPA)
	Lärmpegel	M		Schallmessgerät	Zu Klären: Definition Messpunkte (Maschinenbediener)
	Abwassermenge	S			bisher nicht vorhanden
	Vibration	M		Beschleunigungs- sensor	Messpunkte festlegen
	Co2-Sensor, Gassensor	S		Gassensor	Auf Hallenebene
	Wertstoffe, Recycling-Stoffe, Hilfs/Betriebsstoffe, mensch. Abfall	M			Zu Klären! Wiegen von Müllbehältern?
	Temperatur (z.B. über eine Infrarotkamera)	S		Wärmebildkamera	
	Mensch/ Personal	Temperatur	M		Temperatursensor
Luftfeuchte		M		Feuchte-Sensor	Auf Hallenebene
CO2-Gehalt		M		Gassensor	Auf Hallenebene
Krankheitstage		S		ERP	
Arbeitsstunden		M		ERP	
Bewegungsanalysen/Wegstrecken		S		Wearables	
Stresslevel (Puls, Schweiß, etc.)		S		Wearables	
Lärmpegel		M		Wearables	
Lichtsensor (Farben)		S		Lichtsensor	
Luftqualität (Raumklima und Geruch)		M		Temperatur-, Feuchte und Gassensor	
MA-Verfügbarkeit		M		ERP	
MA-Verfügbarkeit		M		ERP	
MA-Fähigkeit		S		ERP	
Arbeitsunfall		S		ERP	



2.1.2 Robert Bürkle GmbH, Multilayer PCB-Press

Die verfügbaren Maschinendaten in den fünf Handlungsfeldern werden über OPC/UA ausgegeben. Davon sind aktuell noch Parameter offen (hinsichtlich nativer Bereitstellung und einer möglichen Anbindung an MES/ERP-Systeme) und gemeinsam mit dem Ansprechpartner der Firma Robert Bürkle GmbH zu klären. Diese werden nachgereicht.

	Benötigte Daten	Muss/ Soll	Maschinen- daten	Zusatzsensorik/ ERP/MES	Bislang unklar
Organisation	Betriebszeit (--> Geplante Nicht-Produktionszeit)	M	OPC/UA		
	Zeiten von ungeplanten Stillständen (Störungen)	M	OPC/UA		
	Leistungsverluste (--> geplante Menge & Ist-Menge)	M	OPC/UA		
	QS-Verluste (niO)	M	OPC/UA		
	Rückmeldung (Produktion, Rüsten, Wartung, Störung)	M	OPC/UA		
	Rüstzeiten	M	OPC/UA		
	Anfahr- / Abfahrzeiten	?	OPC/UA		
	Wartungszeiten	M	OPC/UA		
	Störungszeiten	M	OPC/UA		
	Produktionszeiten	M	OPC/UA		
	Wartezeiten	M	OPC/UA		
	Fertigungskosten	M	Berechnung Bürkle oder Edge-Cloud		
	Materialkosten	M	Berechnung Bürkle oder Edge-Cloud		
	Energieverbrauch	M		Energiemesssystem	
Materialverbrauch	M			RS Bürkle	
Energie	Energiemenge	M	Berechnung Bürkle		
	Energieträger	M		ERP	
	Energiequelle (z.B. Strommix)	M		ERP	
	Leistung (kW)	M	OPC/UA	Energiemesssystem	
	Netzgrad/Wirkungsgrad n	M	OPC/UA	Energiemesssystem	
	Energieverbrauch der Peripherie, z.B. Lüftung	S		Energiemesssystem	
	Blindleistungsanteil	S	OPC/UA	Energiemesssystem	
	Druckluft - Systemdruck	S			Maschine besitzt keine Druckluftanschlüsse
	Druckluft - Temperatur	S			
Druckluft - Leckagerate	S				



	Druckluft - Volumenstrom	S			
	Druckluft - Peaks	S			
Material	Materialmenge	M	OPC/UA		
	Materialart	M	OPC/UA		
	Materialmenge	M			RS Bürkle
	Verschnitt	M			RS Bürkle: Gibt es überhaupt Verschnitt?
	Ausschuss	M			RS Bürkle: Gibt es überhaupt Ausschuss?
	Wassermenge	S	OPC/UA		
	Wasser - Temperatur	S	OPC/UA		
	Wasser - Volumenstrom	S		Volumenstrom-sensor	
	Wasserverbrauch - Leckage	S	Berechnung in Edge-Cloud aus Druckmessung		
	Anteil recyclebare Materialien Beschreibung Material (Menge, Datenblatt,..)	M			RS Bürkle: Klärung Abfall/Müll bei Produktionsprozess
	recyclebare Materialien - Materialmenge	M	OPC/UA		
	recyclebare Materialien - Materialart	M	OPC/UA		
	recyclebare Materialien - Materialmenge	M			RS Bürkle
	recyclebare Materialien - Verschnitt	M			RS Bürkle: Gibt es überhaupt Verschnitt?
Emissionen	CO2-Emissionen - Energiemenge	M			Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Energieträger	M			Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Strommix	M			Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Emissionsfaktor	M			Daten von EVU (IPA)
	Lärmpegel	M		Schallmessgerät	Zu Klären: Definition Messpunkte (Maschinenbediener)
	Abwassermenge	S			bisher nicht vorhanden
	Vibration	M		Beschleunigungssensor	RS Bürkle: Messpunkte festlegen
	Co2-Sensor, Gassensor	S		Gassensor	
	Wertstoffe, Recycling-Stoffe, Hilfs/Betriebsstoffe, menschl. Abfall	M			Zu Klären! Wiegen von Müllbehältern?
	Temperatur (z.B. über eine Infrarotkamera)	S		Wärmebildkamera	
Mensch/ Personal	Temperatur	M		Temperatursensor	
	Luftfeuchte	M		Feuchte-Sensor	
	CO2-Gehalt	M		Gassensor	
	Krankheitstage	S		ERP	
	Arbeitsstunden	M		ERP	



Bewegungsanalysen/Wegstrecken	S		Wearables	
Stresslevel (Puls, Schweiß, etc.)	S		Wearables	
Lärmpegel	M		Wearables	
Lichtsensoren (Farben)	S		Lichtsensoren	
Luftqualität (Raumklima und Geruch)	M		Temperatur-, Feuchte- und Gassensoren	
MA-Verfügbarkeit	M		ERP	
MA-Verfügbarkeit	M		ERP	
MA-Fähigkeit	S		ERP	Über Skill-Listen
Arbeitsunfall	S		ERP	Unfallmeldung im ERP

2.1.3 HOMAG Group AG, 5-Achs CNC-Holzbearbeitungszentrum

Die verfügbaren Maschinendaten in den fünf Handlungsfeldern werden über OPC/UA ausgegeben.

	Benötigte Daten	Muss/ Soll	Maschinen- daten	Zusatzsensorik/ ERP/MES	Bislang unklar
Organisation	Betriebszeit (--> Geplante Nicht-Produktionszeit)	M	OPC/UA		
	Zeiten von ungeplanten Stillständen (Störungen)	M	OPC/UA		
	Leistungsverluste (--> geplante Menge & Ist-Menge)	M	OPC/UA		
	QS-Verluste (niO)	M	OPC/UA		
	Rückmeldung (Produktion, Rüsten, Wartung, Störung)	M	OPC/UA		
	Rüstzeiten	M	OPC/UA		
	Anfahr- / Abfahrzeiten	?	OPC/UA		
	Wartungszeiten	M	OPC/UA		
	Störungszeiten	M	OPC/UA		
	Produktionszeiten	M	OPC/UA		
	Wartezeiten	M	OPC/UA		
	Fertigungskosten	M	OPC/UA		
	Materialkosten	M	OPC/UA		
	Energieverbrauch	M		Energiemesssystem	
Materialverbrauch	M	OPC/UA			
Energie	Energiemenge	M	OPC/UA	Energiemesssystem	
	Energieträger	M		ERP	
	Energiequelle (z.B. Strommix)	M		ERP	
	Leistung (kW)	M	OPC/UA	Energiemesssystem	
	Netzgrad/Wirkungsgrad n	M		Energiemesssystem	
	Energieverbrauch der Peripherie, z.B. Lüftung	S		Energiemesssystem	



	Blindleistungsanteil	S		Energiemesssystem	
	Druckluft - Systemdruck	S		Volumenstrom-sensor	
	Druckluft - Temperatur	S		Volumenstrom-sensor	
	Druckluft - Leckagerate	S	Berechnung in Edge-Cloud		
	Druckluft - Volumenstrom	S		Volumenstrom-sensor	
	Druckluft - Peaks	S	Berechnung in Edge-Cloud		
Material	Materialmenge	M	OPC/UA		An der Maschine erfasst werden können die Fertigungsstückzahlen. In woodWOP ist eine Default-Stückzahl pro Programm hinterlegt (i.d. R. 1). Sie Maschine summiert über MMR diesen Wert auf.
	Materialart	M	OPC/UA		"Klärung HOMAG
	Materialmenge	M	in woodWOP kann direkt eine Materialart eingegeben werden. Diese Info wird aktuell in der Steuerung noch nicht weiterverarbeitet. HOMAG plant Umsetzung nachträglich."		
	Verschnitt	M	OPC/UA		An der Maschine erfasst werden können die Fertigungsstückzahlen. In woodWOP ist eine Default-Stückzahl pro Programm hinterlegt (i.d. R. 1). Sie Maschine summiert über MMR diesen Wert auf.
	Ausschuss	M			Gibt es nur bei großen Nesting-Maschinen. Evtl. Bildverarbeitung
	Wassermenge	S			Ausschuss gibt es in diesem Fall nicht
	Wasser - Temperatur	S			Maschine benötigt kein Kühlwasser



	Wasser - Volumenstrom	S			Maschine benötigt kein Kühlwasser
	Wasserverbrauch - Leckage	S			Maschine benötigt kein Kühlwasser
	Anteil recyclebare Materialien Beschreibung Material (Menge, Datenblatt,..)	M			Maschine benötigt kein Kühlwasser
	recyclebare Materialien - Materialmenge	M		evtl. Kamera + Wiegen	Verschnitt und Späne (Kamera, Wiegen)
	recyclebare Materialien - Materialart	M	OPC/UA		An der Maschine erfasst werden können die Fertigungsstückzahlen. In woodWOP ist eine Default- Stückzahl pro Programm hinterlegt (i.d. R. 1). Sie Maschine summiert über MMR diesen Wert auf.
	recyclebare Materialien - Materialmenge	M	OPC/UA		"Klärung HOMAG
	Verschnitt	M	in woodWOP kann direkt eine Materialart eingegeben werden. Diese Info wird aktuell in der Steuerung noch nicht weiterverarbeit et. HOMAG plant Umsetzung nachträglich."		
Emissionen	CO2-Emissionen - Energiemenge	M		Energiemesssystem	Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Energieträger	M			Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Strommix	M			Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Emissionsfaktor	M			Daten von EVU (IPA)
	Lärmpegel	M		Schallmessgerät	
	Abwassermenge	S			bisher nicht vorhanden



	Vibration	M	OPC/UA		Die Spindel ist mit einem Schwingungssensor ausgestattet, der u. a. schlechte Aufspannsituationen, Werkzeugprobleme, Crash erkennen kann. Diese Ereignisse können zur Programmunterbrechung / Abbruch führen. Messdaten werden innerhalb SPS verarbeitet (n, V) -> verfügbarmachung OPC/UA to do
	Co2-Sensor, Gassensor	S		Gassensor	Auf Hallenebene
	Wertstoffe, Recycling-Stoffe, Hilfs/Betriebsstoffe, mensch. Abfall	M			Von Seiten HOMAG nicht vorgesehen.
	Temperatur (z.B. über eine Infrarotkamera)	S		Wärmebildkamera	
Mensch/ Personal	Temperatur	M		Temperatursensor	
	Luftfeuchte	M		Feuchte-Sensor	
	CO2-Gehalt	M		Gassensor	
	Krankheitstage	S		ERP	
	Arbeitsstunden	M		ERP	
	Bewegungsanalysen/Wegstrecken	S		Wearables	
	Stresslevel (Puls, Schweiß, etc.)	S		Wearables	
	Lärmpegel	M		Wearables	
	Lichtsensoren (Farben)	S		Lichtsensoren	
	Luftqualität (Raumklima und Geruch)	M		Temperatur-, Feuchte- und Gassensoren	
	MA-Verfügbarkeit	M		ERP	
	MA-Verfügbarkeit	M		ERP	
	MA-Fähigkeit	S		ERP	
	Arbeitsunfall	S		ERP	



2.1.4 KOCH Pac-Systeme GmbH, Blisterverpackungsmaschine

Die verfügbaren Maschinendaten in den fünf Handlungsfeldern werden über OPC/UA ausgegeben.

	Benötigte Daten	Muss/ Soll	Maschinen- daten	Zusatzsensorik/ ERP/MES	Bislang unklar
Organisation	Betriebszeit (--> Geplante Nicht-Produktionszeit)	M	OPC/UA		
	Zeiten von ungeplanten Stillständen (Störungen)	M	OPC/UA		
	Leistungsverluste (--> geplante Menge & Ist-Menge)	M	OPC/UA		
	QS-Verluste (niO)	M	OPC/UA		
	Rückmeldung (Produktion, Rüsten, Wartung, Störung)	M	OPC/UA		
	Rüstzeiten	M	Berechnung Statusbit "Rüsten" * Zeit in Edge-Cloud		
	Anfahr- / Abfahrzeiten	?	?		
	Wartungszeiten	M	OPC/UA		
	Störungszeiten	M	OPC/UA		
	Produktionszeiten	M	OPC/UA		
	Wartezeiten	M	Berechnung aus Statusbit in Edge-Cloud		
	Fertigungskosten	M	Feste Werte für Maschine	ERP	
	Materialkosten	M	Feste Werte für Maschine	ERP	
	Energieverbrauch	M		Energiemesssystem	
Materialverbrauch	M			Wiegen. Ist abhängig von den Formatparametern und dem Verpackungsdesign. Kann aktuell nicht bestimmt werden	
Energie	Energiemenge	M		Energiemesssystem	
	Energieträger	M	Feste Werte für Maschine	ERP	
	Energiequelle (z.B. Strommix)	M		ERP	
	Leistung (kW)	M	OPC/UA		
	Netzgrad/Wirkungsgrad n	M		Energiemesssystem	
	Energieverbrauch der Peripherie, z.B. Lüftung	S	OPC/UA		
	Blindleistungsanteil	S		Energiemesssystem	



	Druckluft - Systemdruck	S	OPC/UA		
	Druckluft - Temperatur	S		Volumenstrom-sensor	
	Druckluft - Leckagerate	S	Berechnung über Systemdruck in Edge-Cloud		
	Druckluft - Volumenstrom	S	OPC/UA	Volumenstrom-sensor	
	Druckluft - Peaks	S	OPC/UA	Volumenstrom-sensor	
Material	Materialmenge	M			Folienrolle (Restfolie wird mittels Sensor ermittelt)
	Materialart	M			PET Folie
	Materialmenge	M			wird von KOCH zu Testzwecken gestellt
	Verschnitt	M			für Testlauf kein Verschnitt
	Ausschuss	M			Für Testlauf 100% Ausschuss
	Wassermenge	S		Volumenstrom-sensor	
	Wasser - Temperatur	S		Volumenstrom-sensor	
	Wasser - Volumenstrom	S		Volumenstrom-sensor	
	Wasserverbrauch - Leckage	S	Berechnung in Edge-Cloud über Volumenstrom		
	Anteil recyclebare Materialien Beschreibung Material (Menge, Datenblatt,..)	M			Materialdatenblatt wird nachgereicht.
Emissionen	CO2-Emissionen - Energiemenge	M		Energiemesssystem	
	CO2-Emissionen - Energieträger	M			Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Strommix	M			Daten von EVU (IPA)
	CO2-Emissionen - Emissionsfaktor	M			Daten von EVU (IPA)
	Lärmpegel	M		Schallmessgerät	
	Abwassermenge	S			x
	Vibration	M		Beschleunigungs-sensor	
	Co2-Sensor, Gassensor	S		Gassensor	
	Wertstoffe, Recycling-Stoffe, Hilfs/Betriebsstoffe, mensch. Abfall	M			PET Folie kann recycled werden
	Temperatur (z.B. über eine Infrarotkamera)	S		Wärmebildkamera	
Mensch	Temperatur	M		Temperatursensor	
	Luftfeuchte	M		Feuchte-Sensor	



CO2-Gehalt	M		Gassensor	
Krankheitstage	S		ERP	
Arbeitsstunden	M		ERP	
Bewegungsanalysen/Wegstrecken	S		Wearables	
Stresslevel (Puls, Schweiß, etc.)	S		Wearables	
Lärmpegel	M		Schallmessgerät	
Lichtsensoren (Farben)	S		Farbsensoren	
Luftqualität (Raumklima und Geruch)	M		Temperatur, - Feuchte und Gassensor	
MA-Verfügbarkeit	M		ERP	
MA-Verfügbarkeit	M		ERP	
MA-Fähigkeit	S		ERP	
Arbeitsunfall	S		ERP	

2.1.5 J. Schmalz GmbH, intelligenter Vakuumsauggreifer ECBPI + Kollaborativer Roboter

Die verfügbaren Maschinendaten in den fünf Handlungsfeldern werden über IO-Link ausgegeben.

	Benötigte Daten	Muss/ Soll	Maschinen- daten	Zusatzsensorik/ ERP/MES	Bislang unklar
Organisation	Betriebszeit (--> Geplante Nicht-Produktionszeit)	M	IO-Link		
	Zeiten von ungeplanten Stillständen (Störungen)	M	IO-Link		
	Leistungsverluste (--> geplante Menge & Ist-Menge)	M	IO-Link		
	QS-Verluste (niO)	M			x
	Rückmeldung (Produktion, Rüsten, Wartung, Störung)	M	IO-Link		
	Rüstzeiten	M	IO-Link		
	Anfahr- / Abfahrzeiten	?	IO-Link		
	Wartungszeiten	M	IO-Link		
	Störungszeiten	M	IO-Link		
	Produktionszeiten	M	IO-Link		
	Wartezeiten	M	IO-Link		
	Fertigungskosten	M		ERP	
	Materialkosten	M		ERP	
	Energieverbrauch	M	IO-Link		
	Materialverbrauch	M			gibt es hier nicht
Energie	Energiemenge	M	IO-Link		
	Energieträger	M			EVU
	Energiequelle (z.B. Strommix)	M			EVU
	Leistung (kW)	M	IO-Link		



Material	Netzgrad/Wirkungsgrad n	M		Energiemesssystem	
	Energieverbrauch der Peripherie, z.B. Lüftung	S		Energiemesssystem	
	Blindleistungsanteil	S		Energiemesssystem	
	Druckluft - Systemdruck	S	IO-Link		
	Druckluft - Temperatur	S	IO-Link		
	Druckluft - Leckagerate	S	IO-Link		
	Druckluft - Volumenstrom	S	Berechnung		
	Druckluft - Peaks	S	IO-Link		
Material	Materialmenge	M			gibt es hier nicht
	Materialart	M			gibt es hier nicht
	Materialmenge	M			gibt es hier nicht
	Verschnitt	M			gibt es hier nicht
	Ausschuss	M			gibt es hier nicht
	Wassermenge	S			gibt es hier nicht
	Wasser - Temperatur	S			gibt es hier nicht
	Wasser - Volumenstrom	S			gibt es hier nicht
	Wasserverbrauch - Leckage	S			gibt es hier nicht
	Anteil recyclebare Materialien Beschreibung Material (Menge, Datenblatt,..)	M			gibt es hier nicht
Emissionen	CO2-Emissionen - Energiemenge	M		Energiemesssystem	
	CO2-Emissionen - Energieträger	M			EVU
	CO2-Emissionen - Strommix	M			EVU
	CO2-Emissionen - Emissionsfaktor	M			EVU
	Lärmpegel	M		Schallmessgerät	
	Abwassermenge	S			gibt es hier nicht
	Vibration	M		Beschleunigungs- sensor	
	Co2-Sensor, Gassensor	S		Gassensor	
	Wertstoffe, Recycling-Stoffe, Hilfs/Betriebsstoffe, mensch. Abfall	M			gibt es hier nicht
	Temperatur (z.B. über eine Infrarotkamera)	S		Wärmebildkamera	
Mensch/ Personal	Temperatur	M		Temperatursensor	
	Luftfeuchte	M		Feuchtesensor	
	CO2-Gehalt	M		Gassensor	
	Krankheitstage	S		ERP	
	Arbeitsstunden	M		ERP	
	Bewegungsanalysen/Wegstrecken	S		Wearables	
	Stresslevel (Puls, Schweiß, etc.)	S		Wearables	
	Lärmpegel	M		Wearables	
Lichtsensor (Farben)	S		Farbsensor		



Luftqualität (Raumklima und Geruch)	M		Temperatur-, Feuchte- und Gassensor	
MA-Verfügbarkeit	M		ERP	
MA-Verfügbarkeit	M		ERP	
MA-Fähigkeit	S		ERP	
Arbeitsunfall	S		ERP	

2.2 Datenherkunft der Use Cases

Die Use Cases verwenden Daten aus unterschiedlichen Datenquellen, um ihre Verbesserungen umsetzen bzw. ihre Handlungsempfehlungen aussprechen zu können. Grob wurden diese Datenquellen in statische Vergangenheitsdaten, „echtzeitfähige“ Realdaten aus dem Campus Schwarzwald und „echtzeitfähige“ Realdaten aus anderen Quellen eingeteilt. Bei der Verwendung von Vergangenheitsdaten bedeutet dieses, dass Szenarien aufgezeigt werden, welche die erreichten Verbesserungen aufzeigen. Vier der fünf Use Cases greifen auf diese Vergangenheitsdaten zurück. Die Use Cases Smart Maintenance und Intelligente Druckluft arbeiten zusätzlich mit „echtzeitfähigen“ Realdaten der Arburg-Maschine im Campus Schwarzwald bzw. des Druckluft-Demonstrators am Fraunhofer IPA. Ferner werden Daten für den Use Case Ultraefficient Plant Simulation künstlich generiert, so dass diese im Rahmen von Szenarien vorgeführt werden können.

Use Cases	Szenario (Vergangenheitsdaten, statisch)	Realdaten („live“) aus dem Campus Schwarzwald	Realdaten („live“) aus weiterer Quelle
Smart Maintenance		x	Arburg
Ultraefficient Plant Simulation	x		Ggf. aus der Simulation
Intelligente Druckluft	x	ggf.	Demonstrator
Gleichstromfabrik	x	ggf.	
Additive Fertigung	x	wenn möglich Daten vom Arburg Freeformer; nicht zwingend live notwendig	

Tabella 7: Verwendete Daten bzw. Datenherkunft für die Use Cases

3 Technische Spezifikationen

3.1 Modelle und Auswertungen (Ultraeffizienz-ServiceCenter)

Im Folgenden sind „Bausteine“ für die Modelle und Datenauswertungen aufgezeigt, welche die Funktionalitäten der UEF-Leitstände für die Produktionsumgebung darstellen. Diese Modelle und Auswertungen stellen die „Intelligenz“ der Ultraeffizienz-Leitstände, das Ultraeffizienz-Service Center (USC), dar. Das USC besteht aus insgesamt 8 Bausteinen, die in diesem Kapitel näher beschrieben werden:

- Automatisierte Auswertung der Kennzahlen
- Ultraeffizienz-Benchmark
- Life Cycle Assessment (LCA)
- Weitere zusätzliche Software zur geplanten Datenauswertung
- Arbeitsunterstützung durch Übermittlung von Handlungsanweisungen an einer Spritzgießmaschine mittels intelligenter Beleuchtung
- Kontextinformationen und spezielle Drilldowns für einzelne Kennzahlen
- Handlungsempfehlungen anhand Realdaten CSW
- Handlungsempfehlungen der Use Cases

3.1.1 Automatisierte Auswertung der Kennzahlen

Um eine automatisierte Auswertung der Kennzahlen sicherzustellen, benötigen einige der im Leitstand darzustellenden Kennzahlen zusätzliche Berechnungen. Im Folgenden werden die Formeln für diese Kennzahlen beschrieben. Außerdem ist eine Auswertung je Auftrag möglich, indem die Auftragsdaten vom ERP-System in die Cloud übertragen werden.

Organisation

Gesamtanlageneffektivität OEE

Die Berechnung der Gesamtanlageneffektivität OEE erfolgt, wie in Abbildung 45 dargestellt. Hierbei stellt die *Laufzeit* die geplante Betriebszeit mit den zugehörigen Produktionsaufträgen dar und ist somit Ausgangspunkt für die OEE-Berechnung (hier: OEE=100%). Organisatorische Stillstände und geplante Instandhaltung fließen, wie üblich, nicht in die OEE-Berechnung ein, welches insbesondere aufgrund des Blockbetriebs durch Veranstaltungen und Studienbetrieb am Campus Schwarzwald sinnvoll ist. Es wird zudem bei der Anlagenverfügbarkeit zwischen *technischen Störungen* und *Rüsten/Einstellen* unterschieden. *Technische Störungen* werden als solche klassifiziert, falls der ungeplante Stillstand > 5 min dauert. Ungeplante Stillstände < 5 min werden als *Leerlauf und kurze Stopps* klassifiziert. *Verringerte Geschwindigkeit* wird bei einer Abweichung zur vorgegebenen theoretischen Taktzahl [X /s] festgestellt. Die Anzahl der *fehlerhaften Teile* und *Einschaltverluste* werden durch eine Qualitätsprüfung der produzierten Teile ermittelt.



Gesamtanlageneffektivität OEE = Anlagenverfügbarkeit * Anlageneffizienz * Qualitätsrate

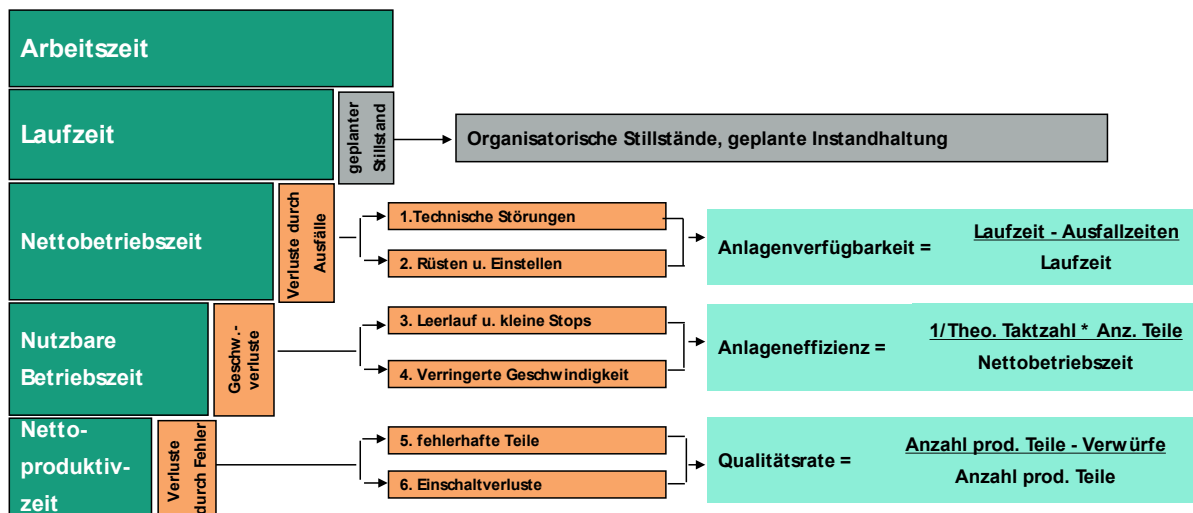


Abbildung 45: Berechnung der Gesamtanlageneffektivität OEE

Betriebszeit (Aufschlüsselung Zeiten)

Die Betriebszeit wird über die auftragsbezogene Planbetriebszeit und die Istbetriebszeit ermittelt.

Empfehlung eines optimalen Fertigungsprozesses

Hierbei werden zwei Fertigungsprozesse (Alternative 1 (alt1) und Alternative 2 (alt2)) hinsichtlich Energie- und Materialverbrauch zur Produktion eines Produkts miteinander verglichen:

Falls $\text{Energieverbrauch}_{\text{alt1}} < \text{Energieverbrauch}_{\text{alt2}}$ und $\text{Materialverbrauch}_{\text{alt1}} < \text{Materialverbrauch}_{\text{alt2}}$,
empfehle Alternative 1.

Falls $\text{Energieverbrauch}_{\text{alt1}} < \text{Energieverbrauch}_{\text{alt2}}$ und $\text{Materialverbrauch}_{\text{alt1}} > \text{Materialverbrauch}_{\text{alt2}}$,
empfehle Alternative 2.

Ansonsten wird keine Empfehlung ausgesprochen.

Folgende Kennzahlen im Handlungsfeld Organisation werden zusätzlich für den Use Case 4.2 Ultraefficient Plant Simulation benötigt und daher hier ebenfalls definiert:

Durchlaufzeit (DLZ)

Die Durchlaufzeit ermittelt sich wie folgt:

$$\text{DLZ} = \text{Bearbeitungszeit [sec]} + \text{Liegezeit [sec]} + \text{Transportzeit [sec]} + \text{Rüstzeit [sec]}$$

Lieferservice (innerhalb einer Periode)

Der Lieferservice ermittelt sich wie folgt:

$$\text{Lieferservice} = \frac{\text{Anzahl fehlerfreier \& pünktlicher Lieferungen}}{\text{Gesamtanzahl aller Lieferungen}}$$

Energie

Energieverbrauch

Der Energieverbrauch im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$\text{Energieverbrauch}_T [\text{kWh}] = \sum_i \text{Energieverbrauch}_{i,T} [\text{kWh}]$$



i: Energieträger (Erdgas, Heizöl, Kohle, Fernwärme, Elektrizität, sonstige)

Energieverwendung

Die Energieverwendung im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$\text{Energieverwendung}_T \text{ [kWh]} = \text{Elektrizität}_T \text{ [kWh]} + \text{Drucklufterzeugung}_T \text{ [kWh]} + \text{Heizen}_T \text{ [kWh]} + \text{Kühlen}_T \text{ [kWh]}$$

Anteil erneuerbare Energien

Der Anteil erneuerbarer Energien im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$\text{Anteil erneuerbare Energien}_T \text{ [\%]} = \text{Eigenerzeugung}_T \text{ (erneuerbare Energien) [kWh]} / \text{Energieverbrauch}_T \text{ [kWh]}$$

Material

Materialverbrauch

Der Materialverbrauch im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$\text{Materialverbrauch}_T \text{ [kg]} = \sum_m \text{Materialverbrauch}_{m,T} \text{ [kg]}$$

m: Materialarten (Eisenwerkstoffe, Nichteisenwerkstoffe, Halbleiter, anorganische nichtmetallische Werkstoffe (Keramik, Glas), Polymere - Erdölbasiert, Polymere - biobasiert, Naturstoffe (Mineralien, Holz, Grafit))

Materialverwendung

Die Materialverwendung im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$\text{Materialverwendung}_T \text{ [\%]} = \frac{\sum_m \text{imEndprodukt}_{m,T}}{\text{Materialverbrauch}_{m,T}}$$

$$\text{Materialverwendung}_{m,T} \text{ [\%]} = \frac{\text{imEndprodukt}_{m,T}}{\text{imEndprodukt}_{m,T} + \text{Verschnitt}_{m,T} + \text{Ausschuss}_{m,T}} \cdot \frac{\text{Materialverbrauch}_{m,T}}{\text{Materialverbrauch}_{m,T}}$$

m: Materialarten (Eisenwerkstoffe, Nichteisenwerkstoffe, Halbleiter, anorganische nichtmetallische Werkstoffe (Keramik, Glas), Polymere - Erdölbasiert, Polymere - biobasiert, Naturstoffe (Mineralien, Holz, Grafit))

Hilfs- & Betriebsstoffe – Verbrauch

Der Verbrauch von Hilfs- und Betriebsstoffen im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen (Einheit falls möglich in kg angeben):

$$\text{Hilfs_Betriebsstoffverbrauch}_T \text{ [kg]} = \sum_h \text{Hilfs_Betriebsstoffverbrauch}_{h,T} \text{ [kg, l, m}^3\text{]}$$

h: Materialart (Kühl- & Schmierstoffe, Reinigungsmittel, Verpackung, Sonstige)

Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch bezieht sich im Campus Schwarzwald auf das Kühlwasser und setzt sich im Zeitraum T folgendermaßen zusammen:

$$\text{Wasserverbrauch}_T = \text{Volumenstrom}_T + \text{Leckage}_T$$

Anteil recycelter Materialien (intern)

Der Anteil recycelter Materialien (intern) im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen:



$$\text{Anteil recycelter Materialien}_T [\%] = \frac{\sum_m \text{recycelte Materialien (intern)}_{m,T} [\text{kg}]}{\sum_m \text{Materialverbrauch}_{m,T} [\text{kg}]}$$

m: Materialarten (Eisenwerkstoffe, Nichteisenwerkstoffe, Halbleiter, anorganische nichtmetallische Werkstoffe (Keramik, Glas), Polymere - Erdölbasiert, Polymere - biobasiert, Naturstoffe (Mineralien, Holz, Grafit))

Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien

Der Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$\text{Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien}_T [\%] = \frac{\sum_m \text{Sekundärmaterialien}_{m,T} [\text{kg}]}{\sum_m \text{Materialverbrauch}_{m,T} [\text{kg}]}$$

m: Materialarten (Eisenwerkstoffe, Nichteisenwerkstoffe, Halbleiter, anorganische nichtmetallische Werkstoffe (Keramik, Glas), Polymere - Erdölbasiert, Polymere - biobasiert, Naturstoffe (Mineralien, Holz, Grafit))

Anteil recycelter Materialien (intern) - Hilfs- & Betriebsstoffe

Der Anteil recycelter Materialien (intern) im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$\text{Anteil recycelter Materialien}_T [\%] = \frac{\sum_h \text{recycelte Materialien (intern)}_{h,T} [\text{kg}]}{\sum_h \text{Materialverbrauch}_{h,T} [\text{kg}]}$$

h: Materialart (Kühl- & Schmierstoffe, Reinigungsmittel, Verpackung, Sonstige)

Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien - Hilfs- & Betriebsstoffe

Der Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$\text{Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien}_T [\%] = \frac{\sum_h \text{Sekundärmaterialien}_{h,T} [\text{kg}]}{\sum_h \text{Materialverbrauch}_{h,T} [\text{kg}]}$$

h: Materialart (Kühl- & Schmierstoffe, Reinigungsmittel, Verpackung, Sonstige)

Emissionen

THG-Emissionen (Scope 1 & 2)

Die THG-Emissionen im Zeitraum T setzen sich folgendermaßen zusammen:

$$\begin{aligned} \text{THG-Emissionen (Scope 1)}_T [\text{CO}_2\text{e}] &= \text{Energieverbrauch}_{j,T} [\text{kWh}] * \text{Emissionsfaktor}_{j,T} [\text{CO}_2\text{e}/\text{kWh}] \\ \text{THG-Emissionen (Scope 2)}_T [\text{CO}_2\text{e}] &= \text{Energieverbrauch}_{k,T} [\text{kWh}] * \text{Emissionsfaktor}_{k,T} [\text{CO}_2\text{e}/\text{kWh}] \end{aligned}$$

j: Energieverbrauch aus Eigenerzeugung (z.B. durch Verbrennung von Erdgas, Heizöl, Kohle, Treibstoff für eigene Fahrzeugflotte)

k: Bezogene Elektrizität, Fernwärme, Kühlenergie, Dampf für eigenen Gebrauch

Gasemissionen

Für die Gasemissionen im Zeitraum T wird keine Berechnung benötigt. Die Werte der einzelnen Gase werden nicht aufsummiert o.ä., da diese nicht miteinander vergleichbar sind.

Abfall

Der Abfall im Zeitraum T setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$\text{Abfall}_T [\text{kg}] = \text{stofflich_verwertbarer_Abfall_ext}_T [\text{kg}] + \text{stofflich_verwertbarer_Abfall_int}_T [\text{kg}] + \text{energetisch_verwertbarer_Abfall}_T [\text{kg}] + \text{Abfall_zur_Beseitigung}_T [\text{kg}] + \text{gefährlicher_Abfall}_T [\text{kg}]$$



Mensch/Personal

Raumklima

Für das Raumklima wird keine Berechnung benötigt. Die Daten, aus welchen sich das Raumklima zusammensetzt, werden nicht aufsummiert o.ä.

Psychische Belastung (analog Raumklima)

Für die psychische Belastung wird keine Berechnung benötigt. Die Daten, aus welchen sich das Raumklima zusammensetzt, werden nicht aufsummiert o.ä.

MA-Matching

Für eine gegebene Aufgabe A wird MA-Verfügbarkeit und die benötigte MA-Fähigkeit abgeglichen. Falls beides passend, kann Aufgabe A dem entsprechenden Mitarbeiter zugewiesen werden.

3.1.2 Ultraeffizienz-Benchmark

Der Ultraeffizienz-Benchmark wurde in der vorherigen Förderphase des Ultraeffizienz-Projekts entwickelt und hat zum Ziel die Ultraeffizienz-Leistung von Unternehmen mithilfe von Kennzahlen vergleichbar zu machen und somit Verbesserungspotentiale innerhalb der fünf Handlungsfelder zu identifizieren. Im Rahmen der UEF-Leitstände werden nun ausgewählte Kennzahlen des Ultraeffizienz-Benchmarks mithilfe der bereits vorhandenen Vergleichswerte aus dem vorherigen Projekt in die UEF-Leitstände integriert. Dieses schafft eine Basis für eine zukünftige Durchführung des Benchmarks mithilfe der UEF-Leitstände. Hierfür werden ausgewählte, automatisiert erhobene Kennzahlen aus den UEF-Leitständen mit den Vergleichswerten des Ultraeffizienz-Benchmarks verglichen. Zur Visualisierung des Ultraeffizienz-Benchmarks wird auf die Tacho-Darstellung (siehe Kapitel 3.7.2) zurückgegriffen.

Entsprechende Normierungen für die Kennzahlen müssen hierbei berücksichtigt werden, da nur so eine Vergleichbarkeit über Unternehmensgrenzen hinweg geschaffen werden kann. Im Rahmen des Ultraeffizienz-Benchmarks wurden der Umsatz, die Bruttowertschöpfung, die Anzahl an Mitarbeitern, die Anzahl und Masse produzierter Produkte sowie die Standortfläche als sinnvolle Bezugsgrößen identifiziert. Für die Integration des Benchmarks in die UEF-Leitstände werden die Bezugsgrößen Anzahl und Masse produzierter Produkte gewählt. Folgende Kennzahlen werden über die UEF-Leitstände abgebildet:

- Materialverbrauch / Produkt (Anzahl)
- Materialverbrauch / Produkt (Masse)
- Wasserverbrauch / Produkt (Anzahl)
- Wasserverbrauch / Produkt (Masse)
- Eingesetzte Sekundärmaterialien / Produkt (Anzahl)
- Eingesetzte Sekundärmaterialien / Produkt (Masse)
- Energieverbrauch / Produkt (Anzahl)
- Energieverbrauch / Produkt (Masse)
- Energieverwendung / Produkt (Anzahl)
- Energieverwendung / Produkt (Masse)
- Anteil erneuerbarer Energien
- THG Emissionen (Scope 1) / Produkt (Anzahl)
- THG Emissionen (Scope 1) / Produkt (Masse)
- Abfallmenge / Produkt (Anzahl)
- Abfallmenge / Produkt (Masse)

3.1.3 Life Cycle Assessment (LCA)

Zur Erstellung einer Ökobilanzierung bzw. Life Cycle Assessment (LCA) muss der betrachtete Prozess zunächst in der entsprechenden Software (Umberto oder openLCA) modelliert werden. Die Daten aus der Cloud können anschließend in Form einer Excel-Tabelle in das Programm geladen und neue Berechnungen durchgeführt werden.



Die Ergebnisse werden anschließend ebenfalls in Form einer Excel-Tabelle an die Cloud zurückgegeben. Für Umberto kann zusätzlich auch ein Sankey-Diagramm in Form einer Bilddatei angezeigt werden. Um die Funktionalität LCA auch nach Projektende zu gewährleisten, wird darüber hinaus openLCA als kostenfreie Variante für eine LCA ebenfalls über eine Excel-Tabelle angebunden. Die Darstellung eines Sankey-Diagramms ist hier jedoch nicht möglich. In beiden Fällen (Umberto & openLCA) ist jedoch eine Datenbank zur Wirkungsabschätzung (z.B. ecoinvent) notwendig.

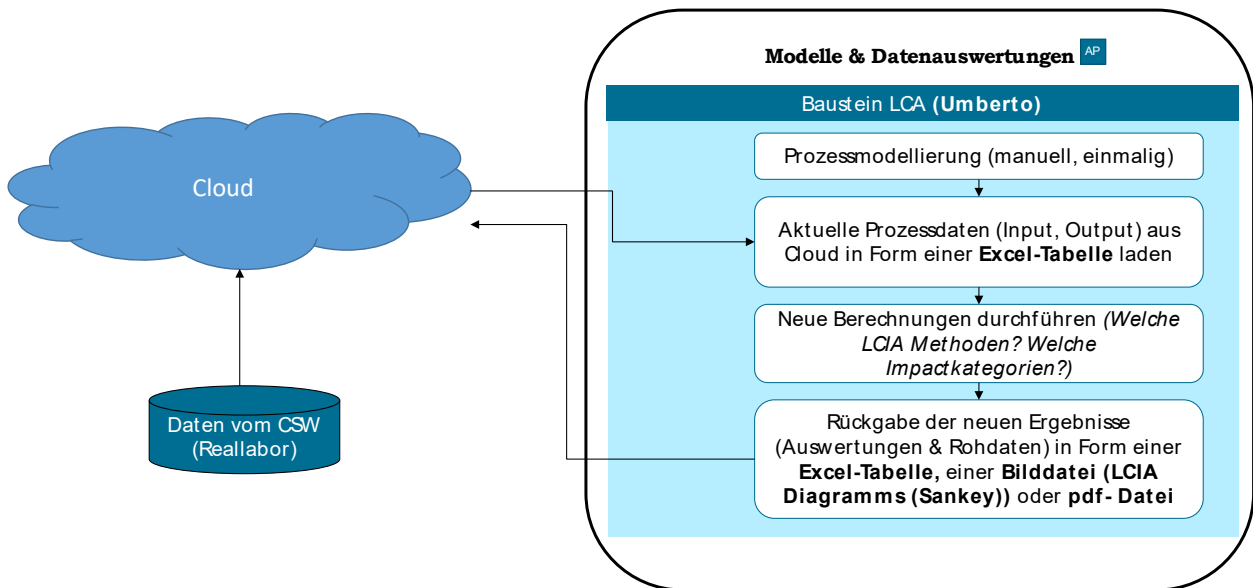


Abbildung 46: Einbindung von Auswertungen für Life Cycle Assessment über Umberto

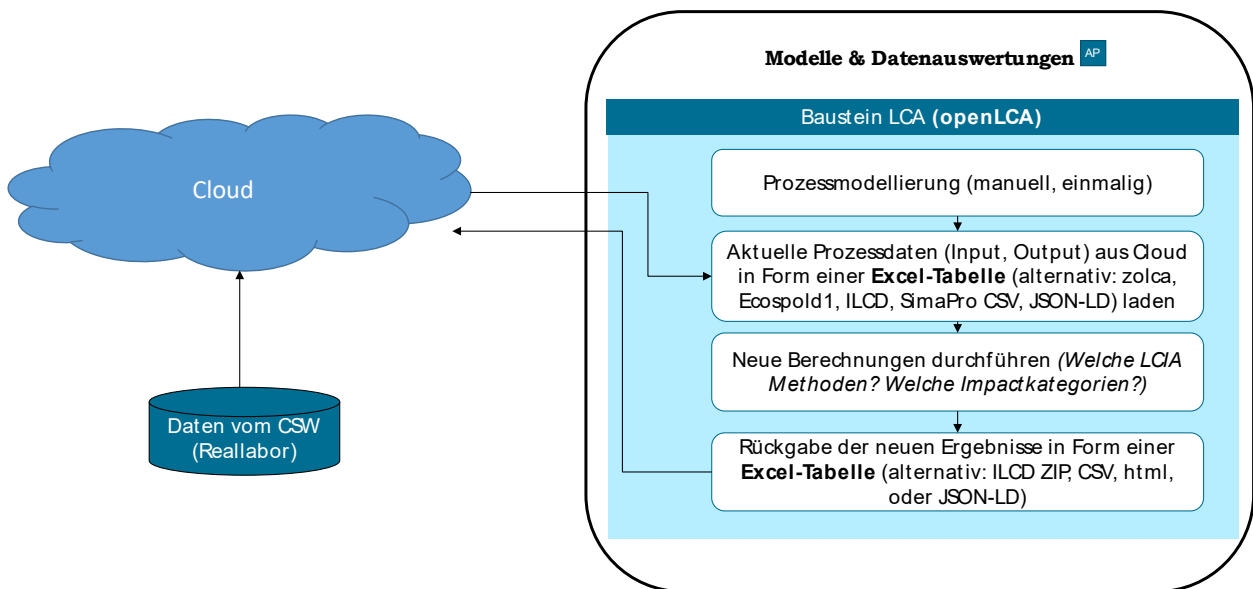


Abbildung 47: Einbindung von Auswertungen für Life Cycle Assessment über openLCA

Weitere Auswertungen, wie z.B. Materialflusskostenanalyse, können aufgrund fehlender Schnittstellen der benötigten Software nicht umgesetzt werden.

3.1.4 Weitere zusätzliche Software zur geplanten Datenauswertung

Für folgende Use Cases ist zusätzliche Software notwendig:



- Smart Maintenance: Visualisierungssoftware für AR-Datenstrom (Videostream Format z.B. H.264/H.265)

3.1.5 Projektion von situationsbezogenen Handlungsanweisungen

Im hier vorgestellten Use Case soll die Unterstützung von Mitarbeitern mithilfe von Kameras und Projektionstechnik erfolgen. Zu diesem Zweck sollen Arbeitsanweisungen und Handlungsempfehlungen und Ereignishinweise, die vom Use Case Instandhaltung erzeugt werden, im Arbeitsumfeld der Spritzgießmaschine am Campus Schwarzwald auf geeignete Flächen projiziert werden. Dabei soll die Position eines Mitarbeiters durch ein Kamerasystem erfasst und die Projektion hinsichtlich dieser Informationen nach Ort, Orientierung und Größe angepasst werden. Dabei ist eine Zuordnung der Datensätze zu einem spezifischen Mitarbeiter oder dessen Identifikation ohne zusätzliche Informationsquellen nicht möglich. Die erfassten Daten sind daher als pseudonymisiert zu betrachten. Die Datenübertragung zwischen Kameras, Projektoren und Recheneinheiten soll über Kabelverbindungen erfolgen, da die 5G-Infrastruktur derzeit nicht funktionsfähig ist. Die theoretische Umsetzbarkeit über 5G soll dennoch geprüft werden.

Nach erfolgreicher Umsetzung des beschriebenen Szenarios soll eine mögliche Erweiterung des Funktionsumfangs im Projektrahmen geprüft werden. Insbesondere soll die Implementierung einer Gestensteuerung zur Ermöglichung der Interaktion des Mitarbeiters mit dem System überprüft werden.

Anforderungen

Von der Bedienerseite betrachtet betragen die Maße der Spritzgießmaschine *Arburg Allrounder 370 E* 3,8 m in der Länge, 1,5 m in der Breite und 1,9 m in der Höhe. Unter Einbezug des näheren Maschinenumfelds soll eine Projektionsfläche von 6,8 m Länge, bestehend aus der Maschinenlänge und jeweils beidseitig 1,5 m Arbeitsraum, und 5,5 m Breite, welche sich aus der Maschinenbreite und jeweils beidseitig 2 m Arbeitsraum zusammensetzt, ausgelegt werden. Der gleiche Bereich von 6,8 m mal 5,5 m soll über ein Kamerasystem erfasst werden.

Für die skizzierte Anwendung sollen verschiedene Störeinflüsse berücksichtigt werden:

- Abschattung von Projektionsbereichen durch Menschen und Gegenstände (Maschinen, Material)
- Geringerer Kontrast durch vorhandene Hallenbeleuchtung oder Sonneneinstrahlung
- Geringer Kontrast auf dunklen opaken Oberflächen
- Geringer Kontrast aufgrund von Reflexion auf spiegelnden Oberflächen
- Verzerrung der Projektion auf Oberflächen schräg zur Projektionsachse

Bei der Auslegung wird Tabelle 3: Genauigkeitsklassen in Abhängigkeit der Prozessanforderungen nach (Siegert et al. 2017)¹ verwendet.

Für den beschriebenen Use Case erfüllt die Genauigkeitsklasse IV die benötigten Anforderungen zur Erfassung menschlicher Bewegungen. Diese weist in der Genauigkeit an der Obergrenze 5 cm und in der Toleranz 2,5 cm auf. Daraus ergibt sich nach Formel (siehe Fußnote 1) in Verbindung mit der erforderlichen Messgenauigkeit eine erforderliche Auflösung von etwa 23,63 Megapixel. Die in der Laborhalle implementierten Kameras mit jeweils 25 Megapixeln können für die skizzierte Anwendung genutzt werden.

¹ Pflichtenheft Kapitel „Ermittlung der Anforderungen an die nötige Genauigkeit eines optisch erfassten Fabrikabbilds nach Art und Aufgabe der Entität bzw. des betrachteten Prozesses: Potentialanalyse zu 5G“



Tabelle 8 Genauigkeitsklassen in Abhängigkeit der Prozessanforderungen nach (Siegert et al. 2017)

Genauigkeitsklasse	Genauigkeit / Toleranz	Anwendungsbeispiele
I	< 0,5 mm: < ± 0,025 mm	Fügen, Positionieren und Greifen von Teilen sowie Qualitätssicherung
II	> 0,5 mm – 3 mm: ± 0,025 mm < ± 1,5 mm	Greifen und Positionieren innerhalb Taktlinie
III	> 3 mm – 1 cm: ± 1,5 mm < ± 0,5 cm	Positioniergenauigkeit Materialübergabe FTS
IV	> 1 cm – 5 cm: ± 0,5 cm < ± 2,5 cm	Erfassung menschlicher Bewegungen
V	> 5 cm – 20 cm: ± 2,5 cm < ± 20 cm	Logistische Prozesse

Die Lesbarkeit projizierten Textes hängt von verschiedenen Faktoren ab. Neben Größe, Kontrast und Auflösung ist für das beschriebene Anwendungsszenario auch die Textmenge für einen sinnvollen Einsatz entscheidend. Insbesondere für den beschriebenen Use Case ist die Projektion von kurzen Hinweistexten Hauptziel. Erste Erprobungen von Projektoren mit einer Auflösung von etwa zwei Megapixeln bestätigen sowohl für die Nutzung einer Weitwinkeloptik mit einer Projektionsfläche von etwa 11 auf 7 m als auch ohne Weitwinkeloptik mit einer Projektionsfläche von 6,5 auf 4,5 m die Anwendbarkeit auf den Einsatzzweck.

Mit der vorgestellten, technischen Auslegung ergeben sich folgende notwendige Arbeiten:

<p>Detektion von Menschen und deren Position</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung der von der Kamera erfasste Fläche hinsichtlich hinreichender Auflösung und Abdeckung überprüft Dazu werden die erfassten Bilder mehrerer Kameras zusammengeführt. Eine ausreichende Überlappung der Kamerabilder muss sichergestellt werden. • Anpassung der Transformationsmatrizen der Kamerabilder zur Überführung in ein einheitliches Bezugssystem. • Implementierung der Detektion von Personen. Dazu können klassische Algorithmen wie auch Methoden des maschinellen Lernens zum Einsatz kommen • Bestimmung der Position von Personen in der erfassten Fläche.
<p>Detektion von Fabrikelementen und Projektionsflächen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung geeigneter Projektionsflächen an und um die Spritzgussmaschine herum • Ermittlung geeigneter Methoden zur Detektionen geeigneter Flächen • Ermittlung geeigneter Methoden zur Detektion von Fabrikelementen • Implementierung der Detektion von Fabrikelementen und Projektionsflächen
<p>Positionierung und Ausrichtung der projizierten Elemente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integration der Projektion in das Bezugssystem • Kalibrierung der Projektionsobjekte im Kamerabezugssystem • Ausrichtung der Projektionsobjekte nach Ort, Größe und Ausrichtung an die Projektionsflächen • Zuordnung maximaler Informationsinhalte zu den identifizierten Flächen
<p>Positionierung und Ausrichtung der projizierten Elemente unter Berücksichtigung des Menschen und der realen Fabrik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausrichtung der Projektionsobjekte in Abhängigkeit der Projektionsfläche auf den Menschen
<p>Integration der Handlungsempfehlungen aus Use Case Instandhaltung</p>



3.1.6 Kontextinformationen und spezielle Drilldowns für einzelne Kennzahlen

Einige Diagramme bzw. Widgets, welche im Kapitel 0 zur Visualisierung definiert werden, benötigen Kontextinformationen oder spezielle Drilldowns, z.B. eine Zerlegung in die zugrundeliegenden Daten. Die Kontextinformationen werden in Form eines Popup-Fensters angezeigt. Im Folgenden werden die Drilldowns und Kontextinformationen beispielhaft für die Kennzahlen OEE und Produktionskosten definiert und in den Abbildungen Abbildung 48 Abbildung 49 festgehalten.

/UI-OD-001/ OEE Zeitreihendiagramm

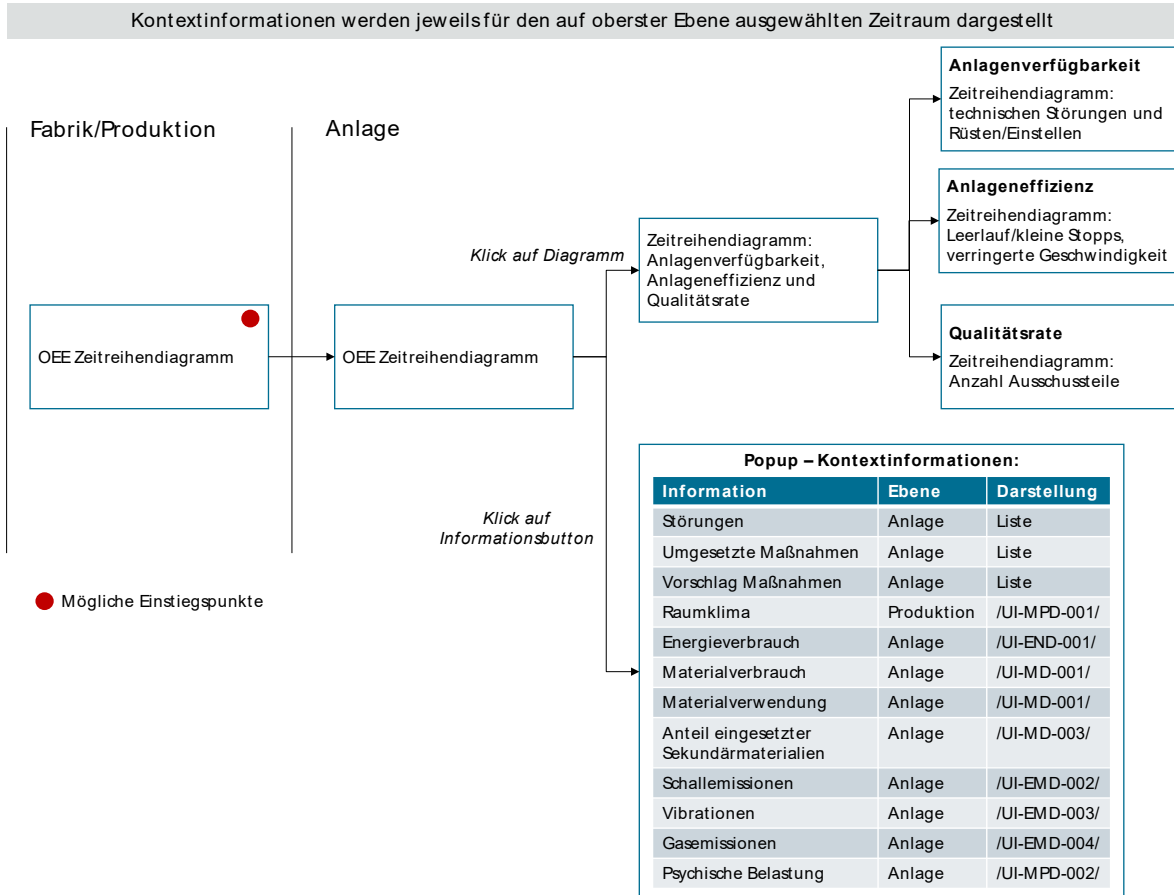


Abbildung 48: /UI-OD-001/ OEE Zeitreihendiagramm

/UI-OW-003/ Produktionskosten

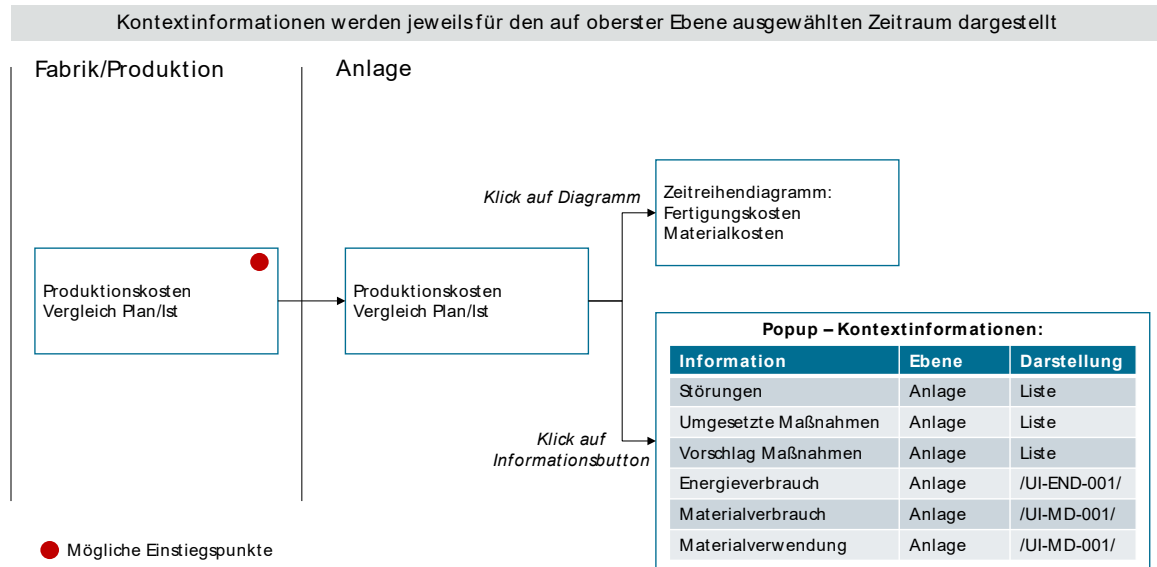


Abbildung 49: /UI-OW-003/ Produktionskosten

3.1.7 Handlungsempfehlungen anhand Realdaten CSW

Die Handlungsempfehlungen sind den jeweiligen Kennzahlen zugeordnet, sodass die entsprechenden Handlungsempfehlungen bei über- bzw. unterschreiten eines bestimmten Toleranzwertes/Schwellenwertes oder einer Zielvorgabe vorgeschlagen werden können (siehe Abbildung 50). Falls die Kennzahlen die vorgegebenen Werte überschreiten, wird anhand der Best-Practice-Datenbank und der archivierten Maßnahmen eine Liste mit entsprechenden Handlungsempfehlungen ausgegeben, die diese Kennzahlen verbessern könnten. Eine automatische Auswahl der Handlungsempfehlungen, bspw. anhand einer Ursachenidentifikation für die Überschreitung, oder eine Priorisierung der Handlungsempfehlungen ist aufgrund der hiermit verbundenen Komplexität nicht vorgesehen. Die Auswahl einer Handlungsempfehlung erfolgt durch den (Prozess-)Verantwortlichen bzw. Bediener*in der Leitstände. Hier wird auf die Erfahrungen der entsprechenden Person gesetzt. Die Handlungsempfehlungen sollen Möglichkeiten aufzeigen und so dazu beitragen, dass der Bediener*in passende Maßnahmen auswählen kann. Zusätzlich werden archivierte und bereits durchgeführte Handlungsempfehlungen gespeichert, um kontrollieren zu können, ob Handlungsempfehlungen erfolgreich waren und um auf Korrelationen, ggf. sogar Kausalitäten, schließen zu können.

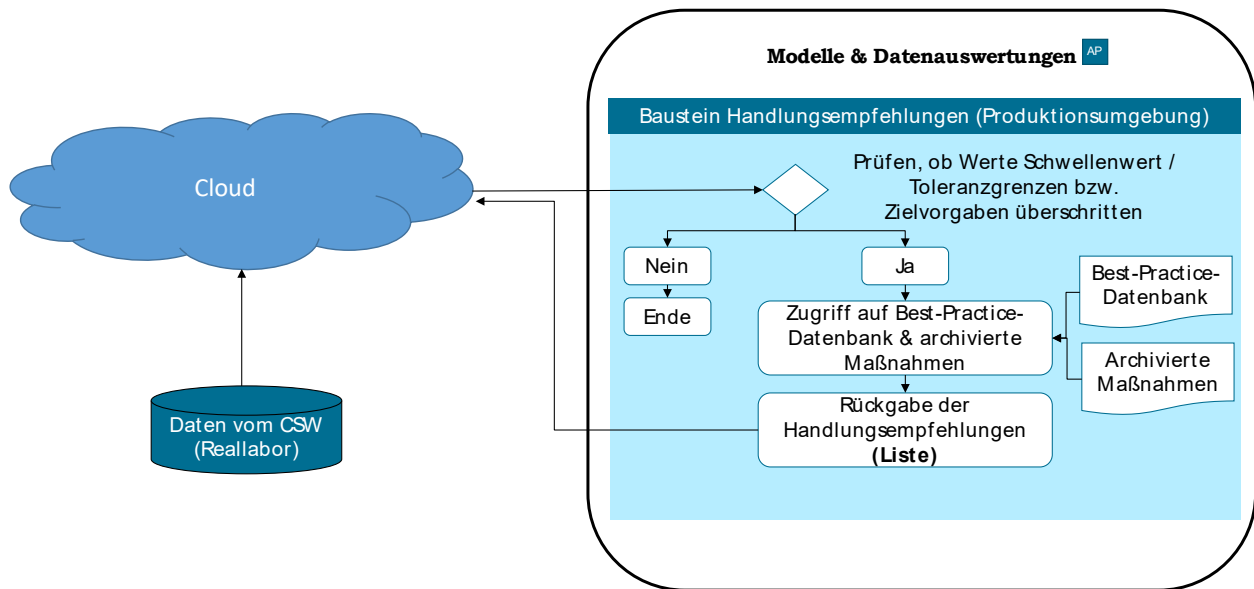


Abbildung 50: Ausgabe von Handlungsempfehlungen anhand von Schwellenwerten/Toleranzgrenzen/Zielvorgaben und Best-Practice Datenbank

Die Handlungsempfehlungen werden analog der zugehörigen Kennzahlen (siehe Kapitel 0) im Leitstand aktualisiert. Die Handlungsempfehlungen werden mit den Kennzahlen und hierdurch auch mit den Handlungsfeldern verknüpft. Diese werden in Form von Listen ausgegeben, welche folgende Informationen enthalten:

- Name der Handlungsempfehlung
- Kurzbeschreibung
- Ebene (Fabrik/Produktion/Anlage/Komponente)
- Potentielles Einsparpotential, inkl. Einheit (bei bereits in der Vergangenheit durchgeführten Maßnahmen: Rückmeldung über Verbesserungen)
- Implementierungsaufwand (ggf. in Personalkosten, Tagen)
- ggf. Investitionskosten
- ggf. Referenzbeispiel (Firma, Quelle, bereits in der Vergangenheit durchgeführt)

3.1.8 Handlungsempfehlungen der Use Cases

Im Folgenden werden die Handlungsempfehlungen der Use Cases beschrieben, welche in den UEF-Leitständen dargestellt werden. Zusätzlich wird angegeben, wie oft sich die Handlungsempfehlungen aktualisieren.

Use Case 1: Smart Maintenance (AP 4.1)

Die Handlungsempfehlungen sind in den Use Case Smart Maintenance eingebettet. Beim Eintritt einer Maschinenstörung, also einem ungeplanten Stillstand, wird diese soweit möglich identifiziert und dem Maschinenbediener die entsprechenden Standardhandlungsempfehlungen zur Behebung dieser Störung empfohlen. Ist für diese Störungsart keine Empfehlung hinterlegt, weil z.B. diese Störung in der Historie noch nicht aufgetreten ist, oder der empfohlene Lösungsansatz nicht erfolgreich war, kommen durch Integration aktueller IoT-Ansätze mit vorhandenen Support-Infrastrukturen des Maschinenherstellers geocoachte Handlungsempfehlungen zum Tragen. Somit kann eine deutliche Reduktion der Stillstandszeit und eine Steigerung der Effizienz des Produktionssystems nach den Maßgaben der Ultraeffizienzfabrik erreicht werden.

Use Case 2: Ultraefficient Plant Simulation (AP 4.2)



Tabelle 9: Handlungsempfehlungen für Use Case Ultraefficient Plant Simulation

Handlungsfeld	Handlungsempfehlung (Bezeichnung)	Investitionskosten	Kosten pro Jahr	Potentielle Einsparung	Kurzbeschreibung
Energie	Erhöhter Stromverbrauch	X € / Teil	X € / Jahr	X € / Jahr	Die Anlage benötigt mehr Strom als üblich → Entsprechendes Teil austauschen
	Sinkender Luftdruck	X € / Teil	X / Jahr	X %	Der benötigte Luftdruck für den Sauggreifer kann nicht gehalten werden → auf Leckage prüfen → Kompressor bzw. Sauger überprüfen
Emission	Erhöhte Maschinen-vibration				Der Lärmpegel an der Maschine XYZ ist bei 60 dB anstatt 45dB. Entweder wird es zur Maschinenstörung führen oder beeinflusst die Leistungsfähigkeit/ Konzentration des Mitarbeiters
	Steigende CO2-Emission				Durch den erhöhten Stromverbrauch steigt die CO2-Emission um X % → Stromverbrauch überprüfen
Mensch/ Personal	Erhöhte Luftfeuchtigkeit				Die Luftfeuchtigkeit liegt oberhalb der Grenze, das führt zu Schlafstörungen & Kreislaufproblemen. Zudem wird es vom Personal als unangenehm empfunden
Mensch/ Personal Organisation	Erhöhte Temperatur				Die Temperatur liegt X °C über der Maximaltemperatur, dies führt zu sinkender Leistungsfähigkeit & Konzentration
	Störung an Station		X € / min → X € / Jahr		Die Simulation kann nicht weiterlaufen, da eine Störung an der Station Hochregallager vorliegt. → Lagerplätze überprüfen
Organisation	Erhöhte Liegezeit		X / Jahr	X € / Jahr	Die Liegezeit im Bereich Abtransport ist um X% erhöht, dieses führt zu einer Erhöhung der Durchlaufzeit um X% → Synchronisation der vor- und nachliegenden Prozessschritten

Wenn eine neue Datei (CSV) eingespielt wird, werden Handlungsempfehlungen innerhalb von 3 Sek. aktualisiert.



Use Case 3: Intelligente Druckluft (AP 4.3)

Table 10: Handlungsempfehlung für Use Case Intelligente Druckluft

Handlungsfeld	Handlungsempfehlung (Bezeichnung)	Kosten pro Jahr in Euro	Kurzbeschreibung	Lokalisation
Energie	Leckage erkannt	X€	Es wurde eine Leckage im System erkannt, die x € pro Jahr verursacht	Innerhalb des Pfads des Druckluftzylinder (Nur auf Pfad Ebene)

Die Auswertungen des Use Cases für den Druckluft-Demonstrator stehen nach den Messungen nach 3 Sekunden zur Verfügung und melden eine erkannte Leckage, falls vorhanden. Daher wird die Handlungsempfehlung auch entsprechend nach 3 Sekunden aktualisiert.

Use Case 4: Gleichstromfabrik (AP 4.4)

Table 11: Handlungsempfehlung für Use Case Gleichstromfabrik

Handlungsfeld	Handlungsempfehlung (Bezeichnung)	Potentielle Erhöhung der Leistungseffizienz	Investitionskosten	Potentielle Energieeinsparung	Potentielle Kosteneinsparung	Amortisationszeit
Energie	Einsparungspotential in DC	%	Einmalige Kosten für DC-Netz	Energieeinsparung nach der Messung mit Algorithmus abgeschätzt	Einsparungen Energie jedes Jahrs	Jahr

Die Messung des Use Cases 4 Gleichstromfabrik wird für jede Produktion einmalig geplant, durchgeführt und anschließend das Einsparpotential errechnet. Eine Aktualisierung des Einsparpotentials sollte in diesem Fall innerhalb eines Tages erfolgen. Falls die Messung, z.B. aufgrund von neuen Anlagen oder größeren Produktionsveränderungen, neu durchgeführt werden muss, wird dementsprechend auch die Handlungsempfehlung aktualisiert.

Use Case 5: Additive Fertigung (AP 4.5)

Table 12: Handlungsempfehlungen für Use Case Additive Fertigung

Handlungsfeld	Handlungsempfehlung (Bezeichnung)	Anforderungen	Nutzen	Umsetzung
Mensch/Personal	Live-Abgleich von benötigten Kompetenzen und verfügbaren Kompetenzen	Kompetenzmatrix der Mitarbeiter muss verfügbar sein	KO-Kriterium für die Entscheidung, ob ein Produkt additiv gefertigt werden kann	Ausgabe einer Warnung, wenn Kompetenz aktuell nicht verfügbar
Organisation	Empfehlung, welches Fertigungsverfahren additiv oder konventionell für das geplante Bauteil besser geeignet ist	Abgleich von historischen Fertigungsdaten ähnlicher Bauteile (Ähnlichkeit wird über KPIs bestimmt)	Fundierte Grundlage zur Entscheidung, welches Fertigungsverfahren wirtschaftlicher bzw. effizienter ist	Handlungsempfehlung wird auf Basis des Datenabgleichs visualisiert (verschiedene Detailstufen, je nach verfügbaren Daten)



3.2 Hardware der UEF-Leitstände

Die UEF-Leitstände am IPA und am CSW dienen der Vorführung der entwickelten Komponenten. Dazu ist eine großflächige Darstellung der verschiedenen Aspekte notwendig. Dies wird erreicht durch die Verwendung von zwei Monitoren mit mindestens 27“-Diagonale (für 16:9 oder 16:10 Formate), bei Verwendung von 32:9 oder 32:10 Format kann auch ein Monitor ausreichen. Zusätzlich zu den Monitoren wird eine Möglichkeit zur Projektion des Bildschirminhalts vorgesehen. Die Projektion soll auf ein entsprechend ausgestattetes Smart Board mit mind. 85“ Display erfolgen. Die Bedienung soll auch über das Smartboard per Touch möglich sein. Für Lehr- und Präsentationszwecke werden mind. zwei rollbare 65“-LED Displays, die z.B. auch direkt in das Reallabor an/vor Maschinen platziert werden können.

Die Ansteuerung der Monitore erfolgt von einem leistungsfähigen PC mit einer Grafikkarte, die Anschlussmöglichkeiten für drei Monitore via HDMI oder Displayport bietet.



3.3 Datenübertragung

3.3.1 Datenübertragung vom Campus Schwarzwald zu den UEF-Leitständen, mobilen Anwendung und zurück

Die Daten werden grundsätzlich über die ausgewählte Cloud-Plattform ausgetauscht. In Abbildung 51 ist dies am Beispiel des Use Cases Smart Maintenance dargestellt. Aus dem CSW werden Sensor- und Maschinendaten, sowie Bilddaten, Events, Auftrags- und Betriebsdaten an die Cloud gesendet. Der entsprechende Smart Maintenance Service des USC holt diese Daten aus der Cloud, wendet seine Algorithmen an und speichert die Ergebnisse wieder in der Cloud. Die Frontend-Services holen diese aufbereiteten Daten aus der Cloud und stellen diese dar (siehe dazu Abschnitt 3.5).

An den Leitständen ist es möglich, ausgewählte Messwerte für eine begrenzte Zeit mit erhöhter Abtastrate zu erfassen (boost). Die entsprechenden Trigger werden von den Leitständen in die Cloud übertragen, auf Seiten des Reallabors überwachen die zuständigen Edge-Devices die entsprechenden Statuswerte in der Cloud und reagieren entsprechend.

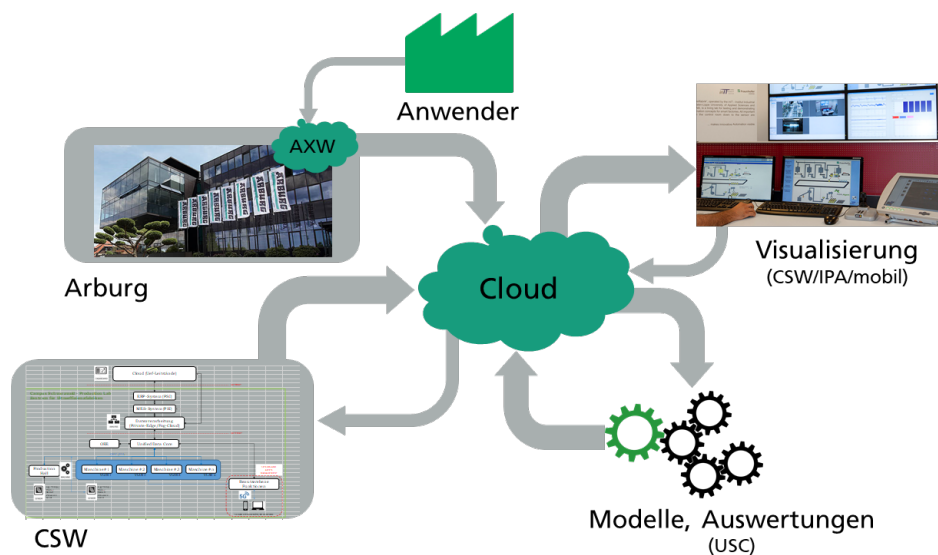


Abbildung 51: Datenpfade am Beispiel Smart Maintenance

- Die IoT-Devices und die Edge-Devices werden entweder per LAN oder per WLAN mit Gateways oder Routern mit entsprechender Internet-Connectivity verbunden. Es ist dem jeweiligen Standort überlassen, ob aus Sicherheitsgründen die beteiligten Kommunikationspartner in Virtual Local Area Networks (VLANs) eingebunden werden.
- Die Übertragung der Daten erfolgt grundsätzlich verschlüsselt nach TLS 1.3.

3.3.2 Datenübertragung von den Use Cases zu den UEF-Leitständen und zurück

Die Use Cases werden entsprechend ihrer Anforderungen und Funktionen an die Cloud-Plattform angebunden. Die folgenden Abbildungen zeigen die jeweiligen Datenpfade und Interaktionen mit der Cloud-Plattform und dem Ultraeffizienz-ServiceCenter (USC), welches die Modelle & Auswertungen, enthält.

Use Case 1: Smart Maintenance (AP 4.1)

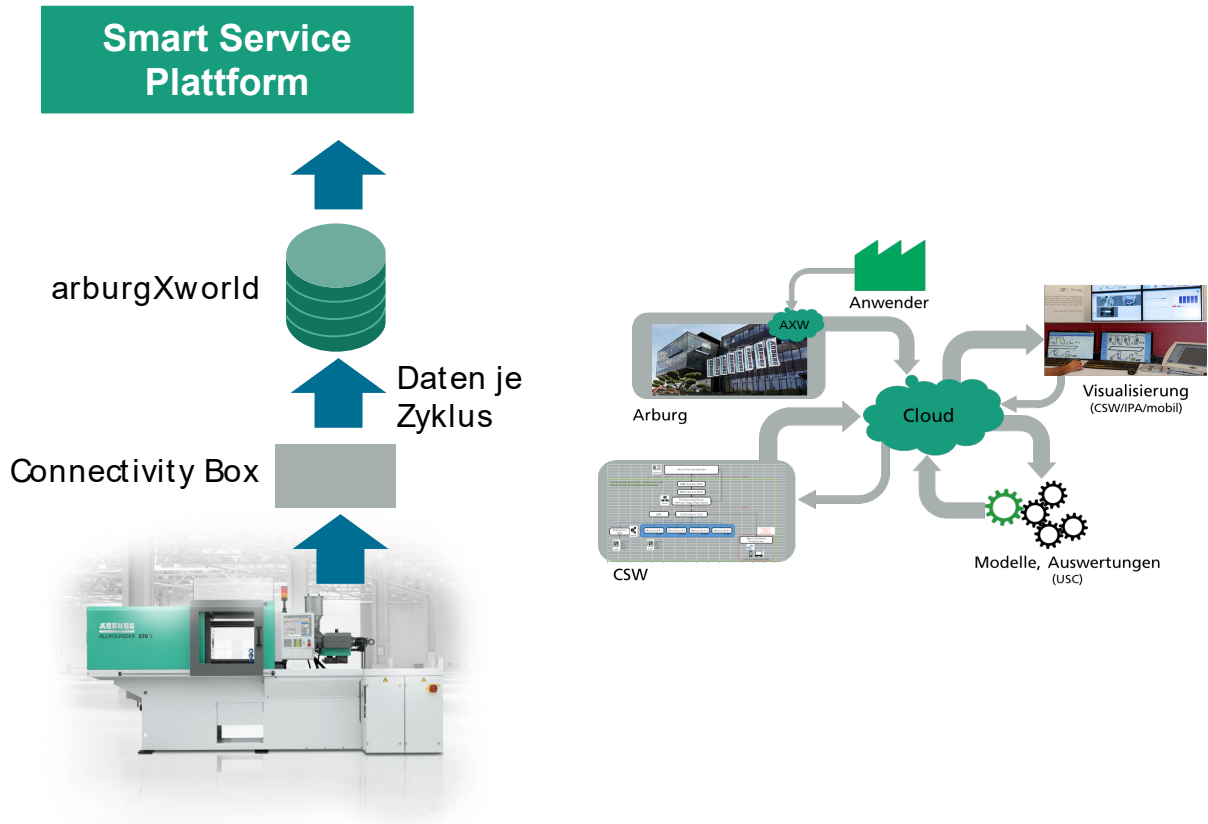


Abbildung 52: Datenübertragung des Use Cases Smart Maintenance

Use Case 2: Ultraefficient Plant Simulation (AP 4.2)

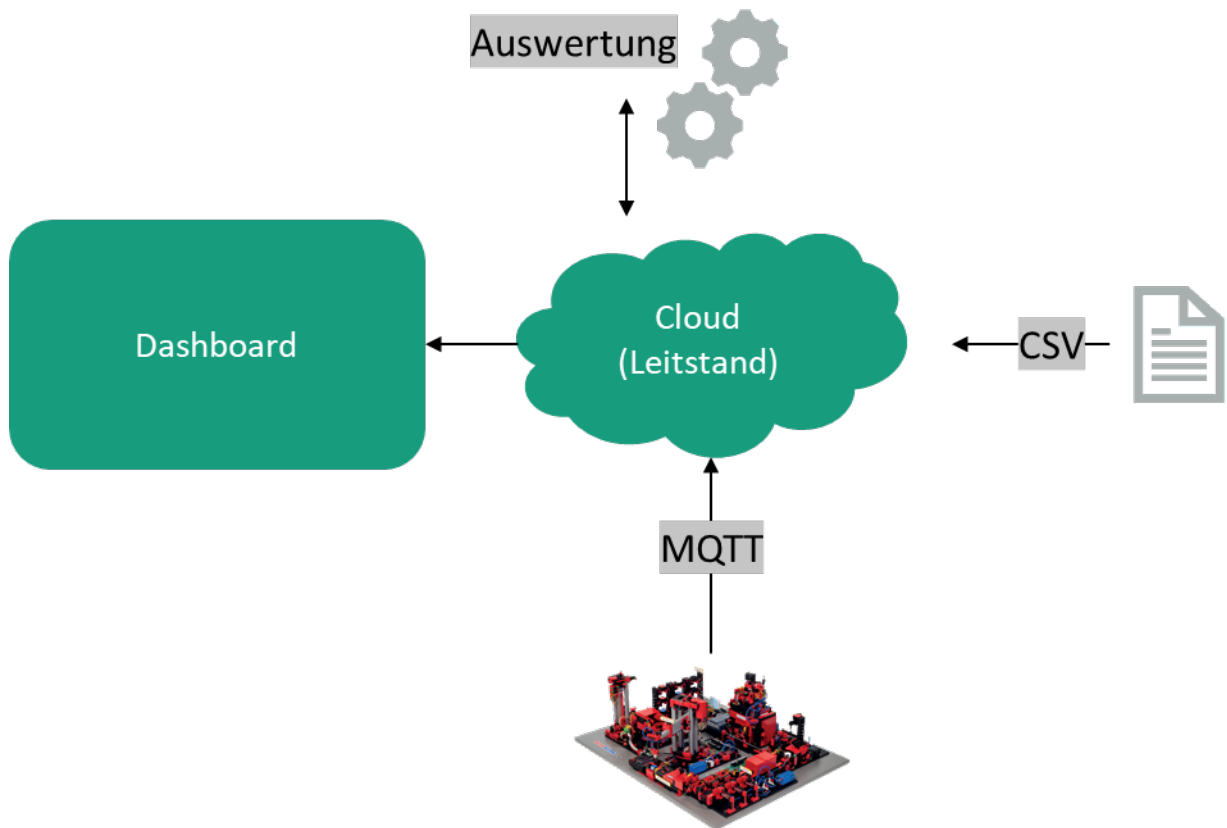


Abbildung 53: Datenübertragung des Use Cases Ultraefficient Plant Simulation

Use Case 3: Intelligente Druckluft (AP 4.3)

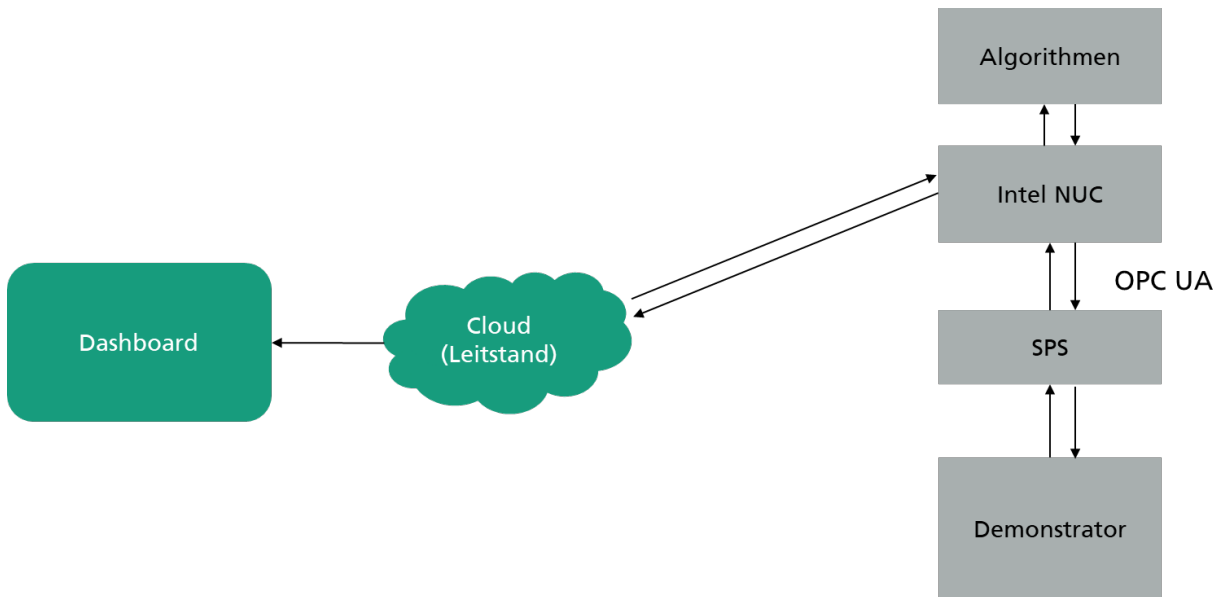


Abbildung 54: Datenübertragung des Use Cases Intelligente Druckluft

Use Case 4: Gleichstromfabrik (AP 4.4)

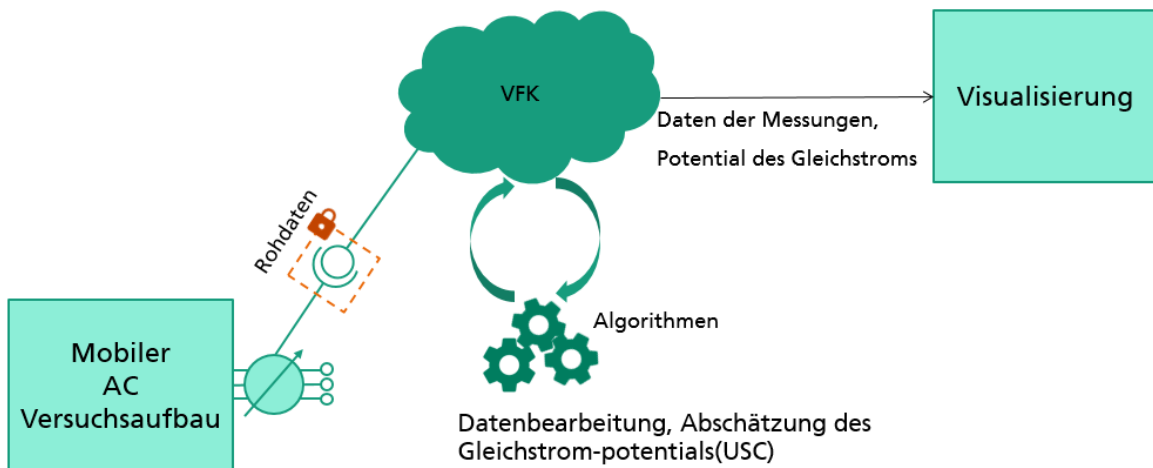


Abbildung 55: Datenübertragung des Use Cases Gleichstromfabrik

Use Case 5: Additive Fertigung (AP 4.5)



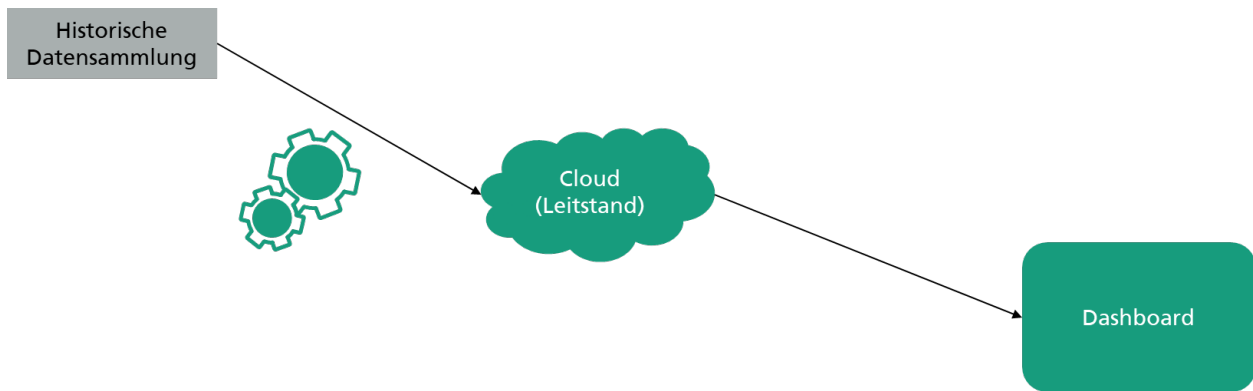


Abbildung 56: Datenübertragung des Use Cases Additive Fertigung

3.4 Datenformat

Die in 3.3 beschriebenen Daten werden grundsätzlich im JSON-Format übertragen. Die Zeichenkodierung ist UTF-8 (ISO/IEC 10646-1:2000). Bei Einzelwerten bzw. bei einfachen Befehlen (z.B. dem aktivieren der erhöhten Datenrate für einen Messwert durch ein entsprechendes Schlüsselwort) kann dies auch durch Übertragung des entsprechenden Textes erfolgen, das gilt nur für die Nutzung des Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) – Protokolls.

Für die Use Cases werden zusätzlich folgende Datenformate benötigt:

Tabelle 13: Verwendete Datenformate der Use Cases

Use Cases	vorzugsweise XML Schema/XSD	CSV	Matlab	pandas data frame	Eigendefiniert (basierend auf Json/XML)	HEVC (für Videostream)
Smart Maintenance					x	x
Ultraefficient Plant Simulation		x			x	
Intelligente Druckluft	x			x		
Gleichstromfabrik		x	x			
Additive Fertigung	x					

3.5 Datenschnittstellen

Die Kommunikation zur Cloud (bzw. zum MSB) sollte über die Websocket-Schnittstelle realisiert werden. Die dafür notwendigen Credentials (URL, Username, Passwort, UUID, Zertifikat) werden den Anwendern bereitgestellt. Es existieren für alle gängigen Programmiersprachen entsprechende Bibliotheken und Beispiele zur Kommunikation mit dem MSB. Für die Definition von Interaktionen zwischen den MSB-Objekten – einfache Berechnungen und Vergleiche, Auslösung von Aktionen, Persistenz in einer Datenbank – steht für den eine webbasierte Konfigurationsoberfläche zur Verfügung.

Die lokalen Datenschnittstellen werden über Edge-Devices bedient, die OPC/UA bzw. MQTT bedienen können und gleichzeitig Verbindung zum MSB halten.

3.5.1 Abgrenzung Frontend und USC



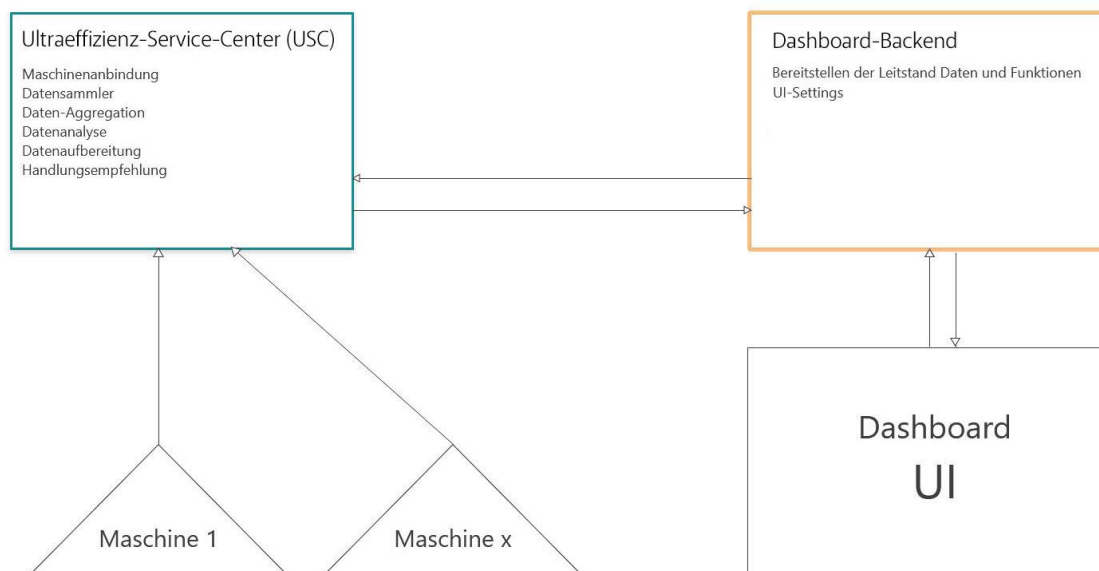


Abbildung 57 Abgrenzung zwischen USC und Visualisierung

Für die Umsetzung der Ultraeffizienzleitstände müssen die softwaretechnischen Verantwortlichkeiten klar aufgeteilt sein. Es wird unterschieden zwischen den Software-Services, welche das USC als solches implementieren und den Services, welche Daten für die Visualisierung (native App und Web App Frontend) verwalten, bereitstellen und aufbereiten. Abbildung 57 soll veranschaulichen, wie das USC und das Frontend inkl. dessen Backend Service zusammenarbeiten.

Dabei ist das USC für die Anbindung der Maschinen und Sensoren sowie die Akquirierung der notwendigen Daten zuständig. Darauf basierend soll alle Intelligenz wie das Erkennen von Anomalien, das Erstellen von Handlungsempfehlungen usw., die im Rahmen des Forschungsprojekts implementiert werden soll, Teil des USC sein. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse, Daten, Zustände und Ereignisse müssen über APIs und/oder Events für das Dashboard-Backend bereitgestellt werden.

Das Dashboard-Backend stellt dabei alle relevanten Informationen und Funktionen für das UI (Frontend) bereit. Es soll seitens UI nur ein Backend geben, mit dem kommuniziert wird, damit das UI unabhängig von der Komplexität und der zusätzlich angebotenen Services des USC bleibt. Das Dashboard-Backend soll alle für das UI relevanten Funktionen und Informationen aus dem USC bereitstellen. Zudem sollen Konfigurationen für die Ansichten, Widgets, die User-Verwaltung usw. abgehandelt werden. Das Dashboard-Backend soll keine USC-relevante Logik enthalten, d.h. keine Analyse und Interpretation von Daten vornehmen.

3.6 Cloud-Plattform

Die Cloud-Plattform wird aus Gründen der Portabilität der entwickelten Module hauptsächlich für den Datentransfer und die Datenspeicherung eingesetzt, auf Cloud-spezifische Leistungen wie Function as a Service (FaaS) soll verzichtet werden. Zur Entscheidung, welche Cloud-Dienste im Projekt eingesetzt werden sollen, wurden die Clouds der wichtigsten Anbieter miteinander verglichen und bewertet.

Anbieter	Service
Fraunhofer	Virtual Fort Knox
Amazon	AWS - Amazon Web Services
Siemens	Mindsphere
Microsoft	MS Azure
Bosch	Bosch IoT-Suite
IBM	Watson IoT Plattform
SAP	Leonardo
PTC	thingworx
GE	predix

Tabelle 14 - Cloud-Dienste

Die Bewertung erfolgte entsprechend den Kriterien der folgenden Tabelle. Die Bewertungstabelle mit ausführlichen Begründungen für die Punktevergabe und die für die Bewertung genutzten Quellen finden sich im Anhang.

Bewertungskriterium	Gewichtung	Anbieter									
		Virtual Fort Knox	AWS	Mindsphere	MS Azure	Next	Watson	Leonardo	thingworx	predix	
Cloud-Service-Modell	10	100%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Verteilung + Hosting	10	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Elastizität	10	100%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Integration	10	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Datenschutz	10	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Ausfallsicherheit	10	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Transparenz	10	100%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Kosten / Pricing-Modell	10	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Wartung / Updating	10	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
(Weiter-)Entwicklung	10	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Ökologische Faktoren	10	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Service	10	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	
Gesamtpunktzahl		10	8	9	10	10,5	10	7,5	10	7,5	
Gesamtpunktzahl gewichtet		33	24	29,5	31	32,5	32	22,5	31	23	

Tabelle 15 - Bewertung der Cloud-Lösungen

Als Cloud-Lösung für das Projekt wird Virtual Fort Knox gewählt. Die kostenlose Nutzung von VFK während des Forschungsprojekts und – für die beteiligten Forschungseinrichtungen Universität Stuttgart, Campus Schwarzwald und Fraunhofer – auch nach Ende des Projekts wurde zugesagt.

Wie oben erwähnt, existieren zur Kommunikation mit dem MSB (die Middleware des VFK) Bibliotheken und Beispiele für viele Programmiersprachen (C, C++, Python, Javascript). Der MSB selbst kann über eine Weboberfläche konfiguriert werden, die einzelnen Objekte lassen sich darüber auch überwachen (auch in Diagrammform).



3.7 Dashboard-Lösung für die Leitstände und die mobile Anwendung (Visualisierung)

Für die Visualisierung gilt es grundsätzlich zu unterscheiden zwischen einer Ansicht und einem Widget. Eine Ansicht enthält Widgets und kann mit anderen geteilt werden. Ein Widget stellt einen oder mehrere Werte da oder enthält ein Diagramm. Im Rahmen dieses Projekts wird es standardmäßig für jedes Handlungsfeld mehrere Ansichten geben, welche jeweils die in 3.7.1 und 3.7.3 definierten Widgets enthalten.

3.7.1 Genereller Aufbau der Visualisierung

Generell können die UEF-Leitstände über drei unterschiedliche Sichten angewählt werden. Innerhalb dieser Sichten werden die jeweiligen Informationen der vier betrachteten Ebenen (Fabrik, Produktion, Anlage, Komponente) angezeigt (siehe Abbildung 58 und Abbildung 59). Die Funktionssicht ist dabei die umfassendste Sicht und zeigt auf den Ebenen Fabrik und Produktion jeweils Übersichtsbilder an. Auf den Ebenen Anlage und Komponente sind die spezifischen Diagramme und Widgets zu finden, welche in den folgenden Unterkapiteln definiert werden. Die Ultraeffizienz-Sicht bietet einen Einstieg über die fünf Handlungsfelder und beinhaltet zusätzlich den Ultraeffizienz-Benchmark. Die Use Case Sicht stellt die fünf Use Cases separat vor und visualisiert auf der Ebene Produktion die jeweiligen Use Case-spezifischen Diagramme/Widgets. Der Use Cases Gleichstromfabrik betrachtet zusätzlich die einzelne Anlage, die Use Cases Smart Maintenance und Intelligente Druckluft betrachten auch die einzelne Anlage und Komponente.

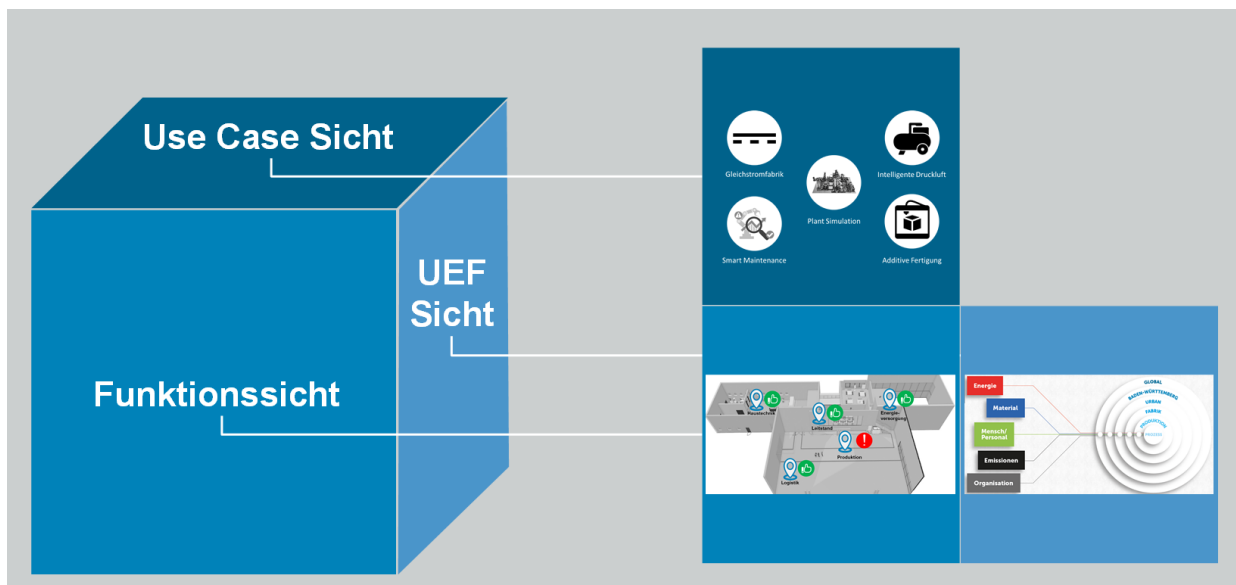


Abbildung 58: Einteilung der Visualisierung in drei Sichten (Einstiegsmöglichkeiten)








	Funktionssicht	Ultraeffizienz-Sicht	Use Case-Sicht
Fabrik / übergeordnet	Übersichtsbild 	Anzeige des Status der Handlungsfelder, Ultraeffizienz-Benchmark & Erklärung UEF 	Übersicht aller Use Cases als Icons → Navigation in Use Case spez. Bereich 
Produktion	Übersicht Produktion + Spezifische Diagramme/Widgets (im Pflichtenheft definiert) 	Anzeige des Status der Handlungsfelder 	Use Case spezifische Diagramme/Widgets Alle Use Cases
Anlage	Spezifische Diagramme/Widgets (im Pflichtenheft definiert)	Anzeige des Status der Handlungsfelder 	Smart Maintenance Intelligente Druckluft Gleichstromfabrik
Komponente	Spezifische Diagramme/Widgets (im Pflichtenheft definiert)	Anzeige des Status der Handlungsfelder 	Smart Maintenance Intelligente Druckluft

Abbildung 59: Übersicht der unterschiedlichen Sichten und Ebenen

3.7.2 Diagrammtypen für Dashboard

Die nachfolgenden Diagrammtypen sollen in der Visualisierung zur Verfügung stehen um entsprechend dafür vorgesehene Daten und Parameter zu visualisieren.

Tortendiagramm

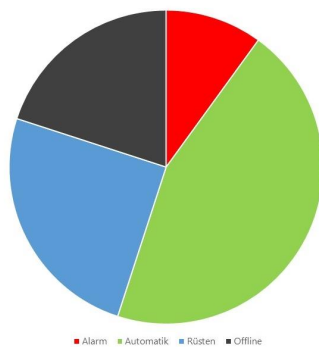


Abbildung 60 Tortendiagramm

Balkendiagramm

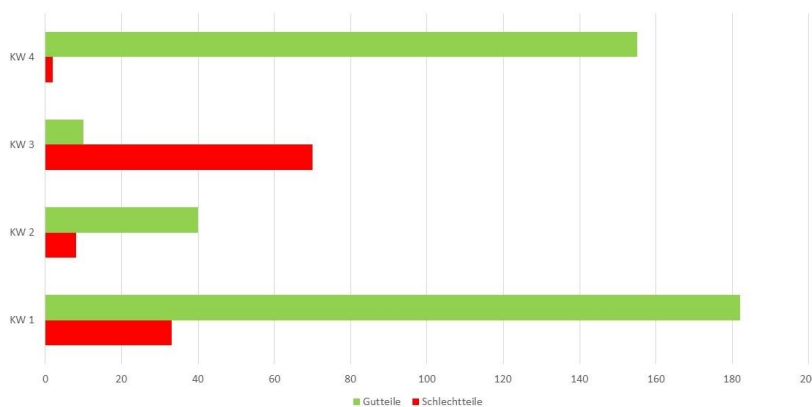


Abbildung 61 Balkendiagramm

Zeitverlaufdiagramm

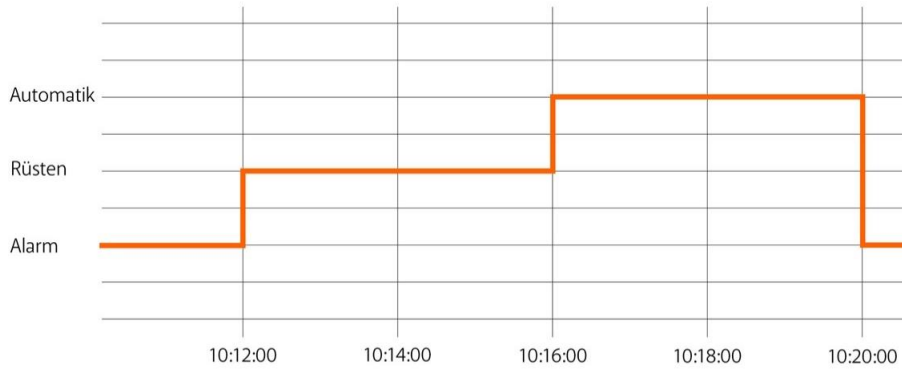


Abbildung 62 Zeitverlaufdiagramm

Liniendiagramm/ Zeitreihendiagramm

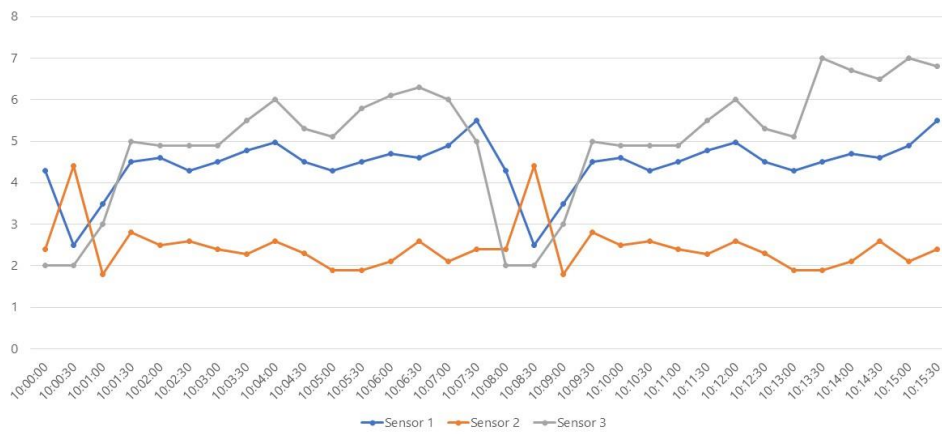


Abbildung 63 Liniendiagramm/ Zeitreihendiagramm

Gestapeltes Säulendiagramm

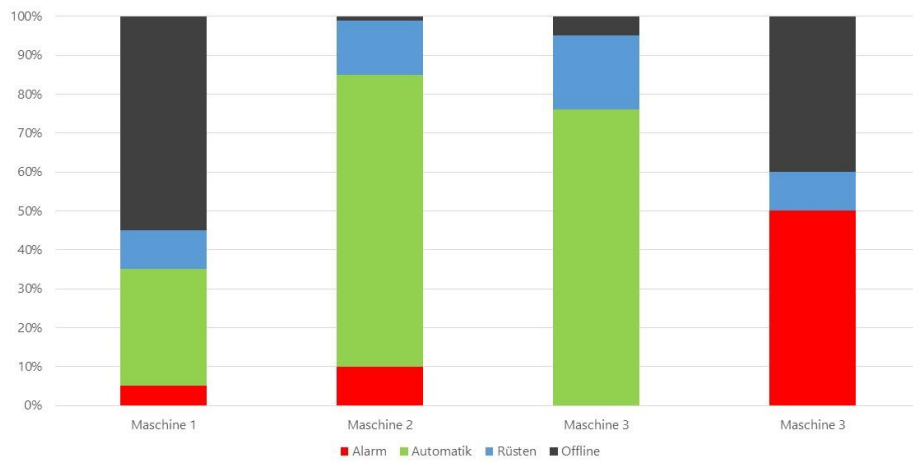


Abbildung 64 Gestapeltes Säulendiagramm



Sankey-Diagramm

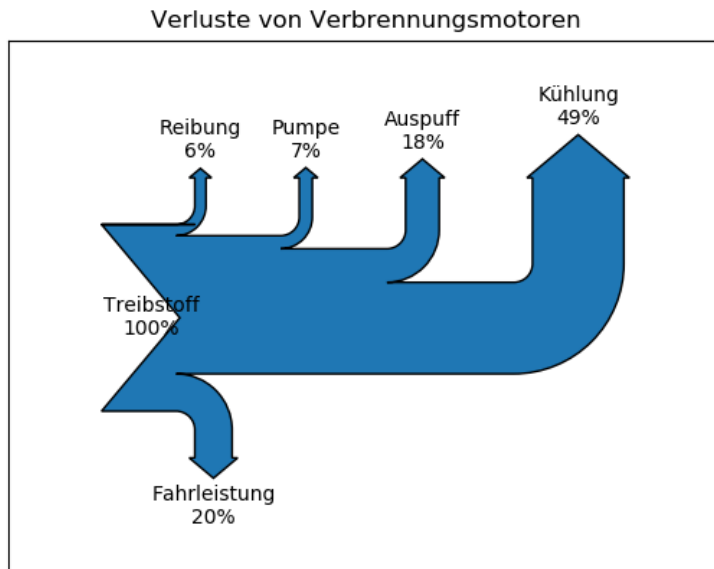


Abbildung 65 Sankey-Diagramm (Quelle: <http://jupiter-online.net/sankey-diagramm-zeichnen-mit-matplotlib/>)

Tacho



Abbildung 66 Tacho

3.7.3 Diagrammtypen und Widgets anhand der Handlungsfelder

Für die fünf Handlungsfelder Energie, Material, Mensch/Personal, Emission und Organisation werden nachfolgend bestimmt, welche Widgets und zu welchen Daten welche Diagramme implementiert werden müssen. Damit soll für den Anwender eine Grundlage geschaffen werden, um sich entsprechend eines Handlungsfeldes eine Ansicht erstellen zu können ohne dazu zusätzlich Logik zu implementieren.

Energie

Diagramme

- /UI-END-001/ Der Energieverbrauch soll als Zeitreihendiagramm dargestellt werden.
- /UI-END-002/ Die Energieverwendung soll als Zeitreihendiagramm dargestellt werden.
- /UI-END-003/ Der Anteil an erneuerbare Energien/Eigenerzeugung soll als gestapeltes Säulendiagramm angezeigt werden und zu einem Tortendiagramm umschaltbar sein.
- /UI-END-004/ Die Druckluftverluste sollen als Zeitreihendiagramm dargestellt werden.
- /UI-END-005/ Sankey Diagramm: Das muss zuvor definiert sein, was durch das Diagramm ausgedrückt werden soll (Definition aus USC-Ebene).

Widgets

- /UI-ENW-001/ Das Einsparpotenzial soll als Wert dargestellt werden.
- /UI-ENW-002/ Der Strommix aktuell und umschaltbar über die letzten 24 soll dargestellt werden.
- /UI-ENW-003/ Spitzenwerte sollen als Wert angezeigt werden

Material

Diagramme

- /UI-MD-001/ Der Materialverbrauch, die Materialverwendung und der Hilfs- & Betriebsstoffe-Verbrauch soll als Verlaufsdiagramm dargestellt werden. Falls Sensorik vorhanden, Darstellung als Zeitreihendiagramm.
- /UI-MD-002/ Der Materialverbrauch, der Hilfs- & Betriebsstoffe-Verbrauch und der Wasserverbrauch soll als gestapeltes Säulendiagramm dargestellt werden.
- /UI-MD-003/ Der Anteil recycelter Materialien (intern), Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien, Anteil recycelter Materialien (intern) - Hilfs- & Betriebsstoffe und Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien - Hilfs- & Betriebsstoffe soll als gestapeltes Säulendiagramm dargestellt werden.

Widgets

- /UI-MW-001/ Der Materialverbrauch mit Ist/Soll und der mit Verschnitt/Ausschuss soll als Werte dargestellt werden.

Mensch/Personal

Diagramme

- /UI-MPD-001/ Das Raumklima mit den Werten Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO2 und Feinstaub soll als Verlaufsdiagramm dargestellt werden.
- /UI-MPD-002/ Die Psychische Belastung soll als Verlaufsdiagramm dargestellt werden.

Widgets

- /UI-MPW-001/ Es soll ein AboutMe Widget mit den Parametern Urlaubstage ‚bereits verbraucht/noch zur Verfügung‘, Krankheitstage und Arbeitsstunden dargestellt werden.
- /UI-MPW-002/ Die Tendenz der Stimmungslage soll als Pfeil nach oben / horizontal / nach Unten dargestellt werden.
- /UI-MPW-003/ Das Raumklima aktuell als Wert inkl. z.B. farblicher Hervorhebung, wenn es zu heiß wird dargestellt werden.
- /UI-MPW-004/ Das Stresslevel soll als Wert in % dargestellt werden.
- /UI-MPW-005/ Die Bewegungsanalyse soll als Bild sowie als Wert (Anzahl Schritte) dargestellt werden.
- /UI-MPW-005/ Das Mitarbeiter-Matching soll als Liste dargestellt werden
- /UI-MPW-006/ Die Mitarbeiter-Zufriedenheit soll als Ampel dargestellt werden.
- /UI-MPW-007/ Die benötigte persönliche Schutzausrüstung soll als Text angezeigt werden.

Emission

Diagramme

- /UI-EMD-001/ Die THG-Emissionen inkl. Betrachtung regenerative Energie usw. soll als Verlaufsdiagramm dargestellt werden.
- /UI-EMD-002/ Der Lärmpegel soll als Verlaufsdiagramm dargestellt werden.
- /UI-EMD-003/ Balkendiagramm für FFT soll dargestellt werden.
- /UI-EMD-004/ Die Gasemission soll als Verlaufsdiagramm dargestellt werden.
- /UI-EMD-005/ Der prozentuale Abfall über Zeit, in der die Anlagen produziert hat in Bezug auf gefertigte Menge (stofflich verwertbar, energetisch verwertbar, Abfall zur Beseitigung, gefährlicher Abfall) + Gesamter Abfall in diesem Zeitraum soll als Verlaufsdiagramm angezeigt werden.
- /UI-EMD-006/ Der Abfall soll mit den Werten stofflich verwertbar, energetisch verwertbar, Abfall zur Beseitigung und gefährlicher Abfall als Tortendiagramm dargestellt werden.



Widgets

- /UI-EMW-001/ Die Gasemission soll als Wert angezeigt werden. Es soll farblich ersichtlich sein, wenn Grenzwerte überschritten werden.
- /UI-EMW-002/ Das Wärmebild der Anlage soll als Bild angezeigt werden.
- /UI-EMW-003/ Der gemessene Lärmpegel der Anlage soll als Bild angezeigt werden.

Organisation

Diagramme

- /UI-OD-001/ Der OEE soll als Zeitreihendiagramm angezeigt werden. Es soll ersichtlich gemacht werden, was zu einem Einbruch geführt hat.
- /UI-OD-002/ Der Status der Anlage soll als Tortendiagramm dargestellt werden.
- /UI-OD-003/ Der Status der Anlage soll als Timing Diagramm dargestellt werden.

Widgets

- /UI-OW-001/ Der OEE Wert soll als Tacho dargestellt werden.
- /UI-OW-002/ Der Status der Anlage soll als Ampelsystem dargestellt werden, also über die einzelnen Farben der jeweiligen Status direkt ersichtlich sein.
- /UI-OW-003/ Die Ist/Plan-Kostenaufstellung soll pro Schuss, pro Stunde, pro Tag oder pro Woche in € oder % angezeigt werden.

3.7.4 Diagrammtypen und Widgets für die Use Cases

Zusätzlich benötigen die Use Cases (AP 4.1 bis AP 4.5) folgende Diagramme und Widgets zur Darstellung ihrer Ergebnisse.

Use Case 1: Smart Maintenance (AP 4.1)

Diagramme

- /UC1-OD-001/ Die Technische Verfügbarkeit soll als Verlaufsdigramm dargestellt werden, inkl. Zielwert und Trend
- /UC1-OD-002/ Die MTBF soll als Verlaufsdigramm dargestellt werden, inkl. Zielwert und Trend
- /UC1-OD-003/ Die MTTR soll als Verlaufsdigramm dargestellt werden, inkl. Zielwert und Trend

Widgets

- /UC1-OW-001/ Einstellung Betrachtungszeitraum
- /UC1-OW-002/ Auflistung der TOP Störungen im ausgewählten Betrachtungszeitraum (Stillstandszeit)
- /UC1-OW-003/ Ampeldarstellung Gesundheitsstatus der Produktionsmaschine
- /UC1-OW-004/ Auflistung der Lösungsansätze / Handlungsempfehlungen (für bestimmten Fehlercode oder Bauteil)
- /UC1-OW-005/ Verbinden zu Service-Hotline und Öffnen der Videoverbindung

Use Case 2: Ultraefficient Plant Simulation (AP 4.2)

Diagramme

Organisation

- /UC2-OD-001/ Der OEE soll als Zeitreihendiagramm angezeigt werden. Es soll ersichtlich gemacht werden, was zu einem Einbruch geführt hat
- /UC2-OD-002/ Die Durchlaufzeit soll als gestapeltes Säulendiagramm (Absoluten Werte) dargestellt werden. Die einzelnen „Teilbalken“ sind Bearbeitungszeit, Liegezeit, Transportzeit und Rüstzeit



- /UC2-OD-003/ Die Produktionsmengen soll als gestapeltes Säulendiagramm dargestellt werden. Die einzelnen „Teilbalken“ sind Gutteile, Ausschuss und QS Verluste
- /UC2-OD-004/ Der Lieferservice soll als Zeitreihendiagramm angezeigt werden

Energie

- /UC2-END-001/ Energieverbrauch je Station soll als Zeitreihendiagramm dargestellt werden
- /UC2-END-002/ Gesamtenergieverbrauch soll als Zeitreihendiagramm dargestellt werden
- /UC2-END-003/ Druckluftverbrauch soll als Zeitreihendiagramm dargestellt werden

Emission

- /UC2-EMD-001/ Temperatur soll als Zeitverlaufdiagramm dargestellt werden
- /UC2-EMD-002/ Lärmpegel soll als Zeitverlaufdiagramm dargestellt werden
- /UC2-EMD-003/ Luftqualität soll als Zeitverlaufdiagramm dargestellt werden
- /UC2-EMD-004/ CO2-Emission soll als Zeitverlaufdiagramm dargestellt werden

Material

- /UC2-MD-001/ Die Produktionsmenge soll als gestapeltes Säulendiagramm dargestellt werden. Die einzelnen „Teilbalken“ sind Gutteile, Ausschuss und QS Verluste
- /UC2-MD-002/ Abfallquote soll als Tortendiagramm dargestellt werden. Mit Aufteilung Abfallart + evtl. Summe Gesamtkosten Abfall
- /UC2-MD-003/ Anteil nachwachsender Rohstoffe soll als Tortendiagramm dargestellt werden. Mit Anteil nachwachsender Rohstoff [%] am Gesamtmaterialbedarf

Mensch/Personal

- /UC2-MPD-001/ Temperatur soll als Zeitverlaufdiagramm dargestellt werden
- /UC2-MPD-002/ Luftfeuchtigkeit soll als Zeitverlaufdiagramm dargestellt werden
- /UC2-MPD-003/ Luftqualität soll als Zeitverlaufdiagramm dargestellt werden
- /UC2-MPD-003/ Lärmpegel soll als Zeitverlaufdiagramm dargestellt werden

Widgets

Organisation

- /UC2-OW-001/ OEE Wert soll als Tacho und Wert dargestellt werden. Es soll farblich ersichtlich sein, wenn der %-Wert unter dem Ziel ist
- /UC2-OW-002/ Durchlaufzeit soll als Wert angezeigt werden, mit einer Aufteilung in Bearbeitungszeit, Liegezeit, Transportzeit und Rüstzeit
- /UC2-OW-003/ Produktionsmenge soll als Wert angezeigt werden. Es soll farblich ersichtlich sein, wenn die Tagesmenge erreicht wurde
- /UC2-OW-004/ Lieferservice soll als Wert angezeigt werden. Es soll farblich ersichtlich sein, wenn der %-Wert unter dem Ziel ist
- /UC2-OW-005/ Status der Anlage soll als Ampelsystem dargestellt werden, also über die einzelnen Farben der jeweiligen Status direkt ersichtlich sein

Energie

- /UC2-ENW-001/ Energieverbrauch je Station soll als Tacho und als Wert dargestellt werden
- /UC2-ENW-002/ Gesamtenergieverbrauch soll als Ampelsystem dargestellt werden und über die einzelnen Farben der jeweiligen Status direkt ersichtlich sein
- /UC2-ENW-003/ Druckluftverbrauch soll als Ampelsystem dargestellt werden. Beim Sinken des Luftdrucks sollte dieses über einzelnen Farben der jeweiligen Status ersichtlich sein. Kriterium: Druckluft weniger als X% über Normverbrauch für grün, gelb, rot

Emission



/UC2-EMW-001/ Temperatur soll als Wert und Ampelsystem angezeigt werden
/UC2-EMW-002/ Lärmpegel soll als Wert und Ampelsystem angezeigt werden
/UC2-EMW-003/ Luftqualität soll als Wert und Ampelsystem angezeigt werden
/UC2-EMW-004/ CO2-Emission soll als Wert und Ampelsystem angezeigt werden

Material

/UC2-MW-001/ Abfallquote soll als Wert dargestellt werden
/UC2-MW-002/ Produktionsmenge (Einsatz Ressourcen) soll als Ampelsystem angezeigt werden (Tagesstatus). Es soll farblich ersichtlich sein, dass das Material effizient genutzt wird. D.h. Ausschuss bzw. QS-Verluste liegen unter X%
/UC2-MW-003/ Abfallquote soll als Wert angezeigt werden
/UC2-MW-004/ Anteil nachwachsender Rohstoffe soll als Wert angezeigt werden

Mensch/Personal

/UC2-MPW-001/ Temperatur soll als angepasster Tacho (Temperatur-Kennwerten) dargestellt werden
/UC2-MPW-002/ Luftfeuchtigkeit soll als angepasster Tacho (Luftfeuchtigkeits-Kennwerten) dargestellt werden
/UC2-MPW-003/ Luftqualität soll als Ampelsystem dargestellt werden inkl. z.B. farblicher Hervorhebung, wenn Grenzwert überschritten wird
/UC2-MPW-004/ Lärmpegel soll als Ampelsystem dargestellt werden inkl. z.B. farblicher Hervorhebung, wenn es zu laut wird

Use Case 3: Intelligente Druckluft (AP 4.3)

Diagramme

/UC3-END-004/ Die Druckluftverluste sollen als Zeitreihendiagramm dargestellt werden.
/UC3-END-001/ Der Energieverbrauch (Druckluftverbrauch) soll als Zeitreihendiagramm dargestellt werden.

Widgets

/UC3-ENW-001/ Das Einsparpotenzial soll als Tacho und als Wert dargestellt werden.
/UC3-ENW-002/ Der Druckluftverbrauch und die Leckageaufträge sollen als Ampelsystem (rot, gelb, grün) dargestellt werden. Der Ampelstatus wird hierbei an das Frontend mitgeliefert und wie folgt definiert:

- Druckluftverbrauch: Druckluft weniger als x% über Normverbrauch für grün, gelb, rot
- Leckageaufträge: Keine Leckageaufträge = grün, offener Leckageauftrag vorhanden = gelb, mehrere offene Leckageaufträge rot)

Use Case 4: Gleichstromfabrik (AP 4.4)

Diagramme

/UC4-END-001/ Die Verläufe der Netzspannung, Netzströme, Spannung der Zwischenkreis, Strom der Zwischenkreis, Spannungen von Antrieb, Ströme von Antrieb sollen als Verlaufsdiagramm dargestellt werden.
/UC4-END-002/ Balkendiagramm für FFT für Netzeingang soll dargestellt werden (optional).
/UC4-END-003/ Die Leistungen an jeweiliger Stelle sollen als Verlaufsdiagramm dargestellt werden (Durchschnitt eines Zeitraums Ts).
/UC4-END-004/ Die Anteile der verbrauchten Leistungen an jeweiliger Stelle sollen als Kreisdiagramm dargestellt werden. (Durchschnitt eines Zeitraums) (optional)
/UC4-END-005/ Die Verluste an jeweiliger Stelle sollen als Verlaufsdiagramm dargestellt werden (Durchschnitt eines Zeitraums Ts).
/UC4-END-006/ Die Effizienz an jeweiliger Stelle sollen als Verlaufsdiagramm dargestellt werden (Durchschnitt eines Zeitraums Ts). (Ts kann man selbst einstellen)

Widgets

/UC4-ENDW-001/ Das Diagramm der Anlage mit Wandelungsstelle.



/UC4-ENDW-002/ Zeichnung der Messgeräte im Diagramm und die Kommunikation (optional).

Use Case 5: Additive Fertigung (AP 4.5)

Diagramme

- /UC5-END-001/ Die Gesamtenergiemenge soll als Säulendiagramm dargestellt werden.
- /UC5-END-002/ Die Gesamtenergiekosten sollen als Säulendiagramm dargestellt werden.
- /UC5-MD-003/ Der Materialverbrauch soll als Säulendiagramm dargestellt werden.
- /UC5-MD-003/ Die Materialkosten sollen als Säulendiagramm dargestellt werden.
- /UC5-MD-005/ Der Anteil recycelter Materialien (intern), Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien, Anteil recycelter Materialien (intern) - Hilfs- & Betriebsstoffe und Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien - Hilfs- & Betriebsstoffe soll als gestapeltes Säulendiagramm dargestellt werden.
- /UC5-EMD-006/ Die THG-Emissionen inkl. Betrachtung regenerativer Energie usw. soll als Verlaufdiagramm dargestellt werden.
- /UC5-EMD-007/ Die Emission ultrafeiner Partikel soll als Verlaufdiagramm dargestellt werden
- /UC5-OD-008/ Die Gesamtfertigungskosten sollen als Säulendiagramm dargestellt werden

Widgets

- /UC5-MW-001/ Das Material-Einsparpotential des besseren Herstellungsprozesses soll als Wert dargestellt werden (prozentual/Tacho).
- /UC5-MW-002/ Der Materialverbrauch mit Ist/Soll und der mit Verschnitt/Ausschuss soll als Werte dargestellt werden.
- /UC5-MPW-003/ Es soll eine Warnung ausgegeben werden, falls eine benötigte Kompetenz aktuell nicht zur Verfügung steht.
- /UC5-ENW-004/ Das Energie-Einsparpotential des besseren Herstellungsprozesses soll als Wert dargestellt werden (prozentual/Tacho).
- /UC5-OW-005/ Die Gesamtkosten-Einsparpotential des besseren Herstellungsprozesses soll als Wert dargestellt werden (prozentual/Tacho).

3.7.5 Diagrammtypen und Widgets für den Ultraeffizienz-Benchmark

Die in Kapitel 3.1.2 definierten Kennzahlen werden in Form eines angepassten Tachos angezeigt. Der Tacho zeigt hierbei die Minimal-, Maximalwerte, den Durchschnittswert und den aktuell gemessenen Wert an.

3.7.6 Drilldown für die Diagramme und Widgets

Generell werden für folgende Diagrammtypen und Widgets die definierten Drilldowns zur Verfügung gestellt:

Zeitreihendiagramme:

- Zoomen auf kürzere Zeiträume wird ermöglicht.
- In Form eines Popups werden Kontextinformationen angezeigt. Diese zeigen an, welche Ereignisse in ausgewähltem Zeitraum angefallen sind. Die Kontextinformationen werden auf USC-Ebene definiert und können auch „Unterzeitreihendiagramme“ enthalten. Die anzuzeigenden Kontextinformationen sind im Kapitel 3.1.6 definiert.

Andere Diagramme:

- Generell sind bei allen Diagrammen Detailansichten möglich, sodass eine Auswahl eines kürzeren Zeitraums möglich ist.
- In Form eines Popups werden Kontextinformationen angezeigt. Diese zeigen an, welche Ereignisse in ausgewähltem Zeitraum angefallen sind. Die Kontextinformationen werden auf USC-Ebene definiert und können auch „Unterzeitreihendiagramme“ enthalten. Die anzuzeigenden Kontextinformationen sind im Kapitel 3.1.6 definiert.



Sankey-Diagramm

- Für das Sankey-Diagramm ist keine Interaktion vorgesehen.

Ampel

- Für die Ampel ist generell eine Anzeige von Kontextinformationen vorgesehen. Es soll ein hierarchisches Drilldown möglich sein, um nachzuverfolgen, welcher Wert bspw. eine rote Ampel verursacht hat. Die Ampelfarbe, Kontextinformationen sowie deren Hierarchie werden auf USC-Ebene definiert. Die anzuzeigenden Kontextinformationen werden wie im Kapitel 3.1.6 definiert.



3.7.7 Aktualisierung der Auswertungen im Frontend

Die Tabelle 16 zeigt die Häufigkeit der Aktualisierung (refresh rate) sowie die Latenz, mit der die aktualisierten Auswertungen im Frontend angezeigt werden.

Tabelle 16: Aktualisierungsrate und Latenz der Auswertungen der UEF-Leitstände:

	Auswertungen	Refresh rate	Latenz
Organisation	OEE	0,1/min	1 min
	Status der Anlagen	1/sec	1 sec
	Betriebszeit (Aufschlüsselung Zeiten)	1/sec	1 sec
	Produktionskosten (Herstellkosten)	1/h	1 h
	Empfehlung eines optimalen Fertigungsprozesses	1/min	1 min
Energie	Energieverbrauch	1/sec	1 sec
	Energieverwendung	1/sec	1 sec
	Anteil erneuerbare Energien/Eigenerzeugung	4/h	1 sec
	Leistung	1/sec	1 sec
	Netzgrad/Wirkungsgrad n	1/sec	1 sec
	DC Potential	1/Tag	1 sec
	Druckluftverluste	20/min	3 sec
Material	Materialverbrauch	1/Tag	1 h
	Materialverwendung	1/Tag	1 h
	Hilfs- & Betriebsstoffe - Verbrauch	1/Tag	1 h
	Wasserverbrauch (Kühlwasser)	1/min	1 sec
	Anteil recycelter Materialien (intern)	1/Tag	1 h
	Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien	1/Tag	1 h
	Anteil recycelter Materialien (intern) - Hilfs- & Betriebsstoffe	1/Tag	1 h
	Anteil eingesetzter Sekundärmaterialien - Hilfs- & Betriebsstoffe	1/Tag	1 h
Emissionen	THG-Emissionen (Scope 1)	4/h	1 sec
	THG-Emissionen (Scope 2)	4/h	1 sec
	Schallemissionen	1/sec	1 sec
	Erschütterung einer Anlage	1/min	1 min
	Gasemissionen	1/h	1 sec
	Abfall	1/Tag	1 h
	Wärmeemissionen	?	?
Mensch/Personal	Raumklima	1/min	10 sec
	Krankheitstage (Gesundheitsstatus)	1/Tag	1 h
	Arbeitsstunden	1 /Tag	1 h
	Ergonomische Aspekte	1/Tag	1 h
	Psychische Belastung	1/h	1 sec
	MA- Verfügbarkeit	1/Tag	1 h
	MA-Matching	1/Tag	1 h
	MA-Zufriedenheit	1/Monat	1 h
	Arbeitsunfall	1/min	1 sec
	Persönliche Schutzausrüstung	1/min	1 sec



4 Teams und Schnittstellen

Für den Aufbau der UEF-Leitstände wurden Teams definiert, die die einzelnen Arbeiten, die hierfür anfallen, übernehmen werden. In der Tabelle 17 werden die Teams, inkl. Aufgabenbeschreibung, Schnittstellen zu anderen Teams, Lead und Teilnehmer, definiert.

Tabelle 17: Teameinteilung für den Aufbau der UEF-Leitstände

AP	Teamname	Beschreibung der Aufgaben	Schnittstellen	Lead	Teilnehmer
3.1	Vernetzung / Infrastruktur Reallabor (CSW)	Aufbau und Vernetzung der Infrastruktur / Hardware am Reallabor	Datenübertragung, Datenaufnahme	Tobias Riethmüller	CSW, IPA
3.1	Datenaufnahme	Nutzbarmachung der Maschinenschnittstellen, Sensorik & Validierung	Vernetzung CSW, Datenübertragung	Tobias Riethmüller	CSW, IPA, Anlagenhersteller (CSW)
3.3	Infrastruktur IPA	Aufbau und Vernetzung der Hardware am IPA	Datenübertragung	Lara Waltersmann	IPA
3.2	Datenübertragung	Aufbau der Cloud-Infrastruktur und Festlegen der Datenstruktur	Schnittstellen zu allen Teams	Jürgen Henke	IPA, CSW
3.3	Funktionsaufbau	Aufbau des Bausteins „Modelle und Datenauswertungen“ → Detaillierung der einzelnen Bestandteile des Bausteins (siehe Kapitel 3.1)	Datenübertragung, Visualisierung	Lara Waltersmann	IPA, CSW, IFF, fischer
3.4	Visualisierung (Front-End)	Visualisierung der physischen Leitstände und des mobilen Leitstands	Datenübertragung, Funktionsaufbau	Michael Silzle	codeunity MeetNow!
4	Use Cases	Umsetzung und Anbindung der Use Cases	Funktionsaufbau, Visualisierung, Datenübertragung	Lara Waltersmann	AP-Leiter



5 Projektplan

Zur Sicherstellung einer termingerechten Fertigstellung der UEF-Leitstände wurde ein detaillierter Projektplan mit Abhängigkeiten und Verantwortlichkeiten erstellt. Der Projektplan ist in Abbildung 67 zu sehen und in OpenProject hinterlegt, um hier während des Aufbaus der UEF-Leitstände den Fortschritt unter Einbezug aller Beteiligten nachvollziehen zu können.



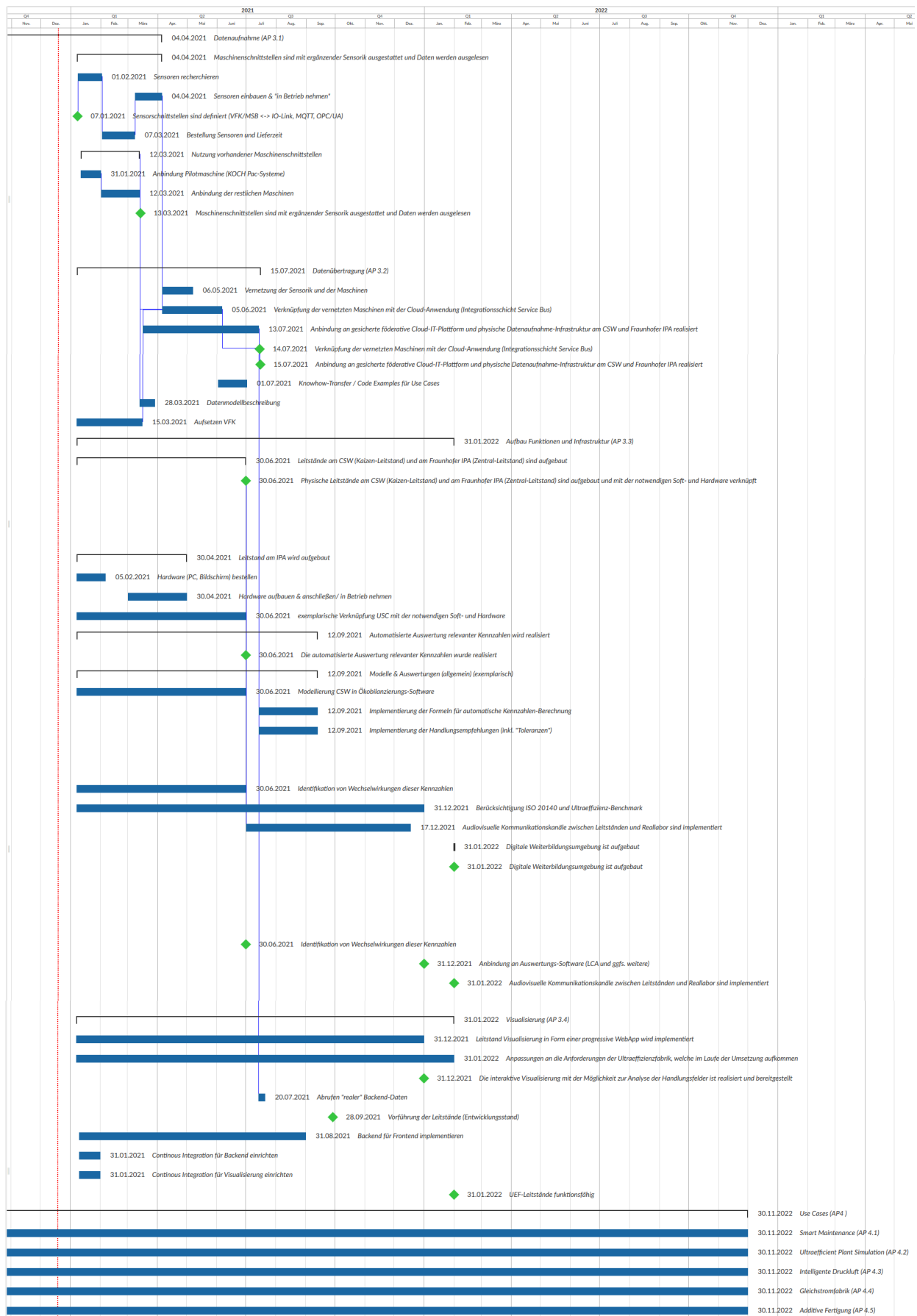


Abbildung 67: Detaillierter Projektplan zum Aufbau der UEF-Leitstände (erstellt mit OpenProject)



6 Dokumentation

Die UEF-Leitstände sollen auch nach Abschluss des Projekts und unabhängig von den beim Aufbau beteiligten Personen verwendet werden können. Hierfür ist eine entsprechende Dokumentation notwendig. Diese Dokumentation wird insgesamt drei Teile enthalten: eine Bedienungsanleitung zur Bedienung der Leitstände, einen FAQ-Teil inkl. typischer Problembeschreibung und ihrer Lösungen und eine detaillierte Beschreibung des Aufbaus der UEF-Leitstände.

Die Bedienungsanleitung dient dazu auch Personen, die nicht direkt in das Projekt eingebunden waren, wie Studierenden, neuen Mitarbeitende o.ä., einen einfachen Zugang zu den UEF-Leitständen und deren Bedienung zu ermöglichen. Hier werden die grundlegenden Funktionen der UEF-Leitstände erklärt. Zusätzlich soll es einen FAQ-Teil geben, in dem insbesondere auf typische Fragestellungen oder Probleme eingegangen wird und Lösungswege beschrieben werden. Für eine zukünftige Erweiterung oder einen Nachbau der UEF-Leitstände ist es zudem essentiell, dass der Aufbau der Leitstände detailliert dokumentiert ist. Dieses umfasst unter anderem Schaltpläne, Aufbaupläne, Programmcode, Architektur der Leitstände. In diesem Teil soll zusätzlich auf eine mögliche Erweiterung der UEF-Leitstände eingegangen werden, z.B. falls weitere Demonstratoren oder Reallabore angebunden werden sollen, und eine erste Anleitung zu möglichen Erweiterungen geben werden.

In den UEF-Leitständen wird ein Link vorgesehen, um direkt auf die Bedienungsanleitungen, FAQ-Teil oder die detaillierte Beschreibung des Aufbaus im PDF-Format zu gelangen.

