

SmART PlaS

Smart Augmented Reality Plating Services

Rahmenplan zum Projekt

Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik (SmARTPlas)

Verbundforschungsvorhaben im Rahmen der Maßnahme
**Internetbasierte Dienstleistungen für komplexe Produkte,
Produktionsprozesse und -anlagen (Smart-Services)**

Projektleitung:



Wissenschaftliche
Projektkoordination:

Institut für Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik

Projektpartner:



Universität Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung
und Fabrikbetrieb IFF



Transferpartner:



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einführung	3
AP 1: Sachbericht von Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) an der Universität Stuttgart	
Kurzdarstellung	7
Eingehende Darstellung	9
AP 2: Sachbericht von DiTEC Dr. Siegfried Kahlich & Dierk Langer GmbH	
Kurzdarstellung	21
Eingehende Darstellung	24
AP 3: TU Braunschweig – Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik	
Kurzdarstellung	34
Eingehende Darstellung	36
AP 4: Softec AG	
Kurzdarstellung	52
Eingehende Darstellung	54
AP 5: B+T Oberflächentechnik GmbH	
Kurzdarstellung	73
Eingehende Darstellung	75
AP 6: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)	
Kurzdarstellung	94
Eingehende Darstellung	97
AP 7: Airtec Mueku GmbH	
Kurzdarstellung	112
Eingehende Darstellung	114
AP 8: Nova Measuring Instruments GmbH / Ursprünglich: ancosys GmbH	
Kurzdarstellung	127
Eingehende Darstellung	129

Einführung

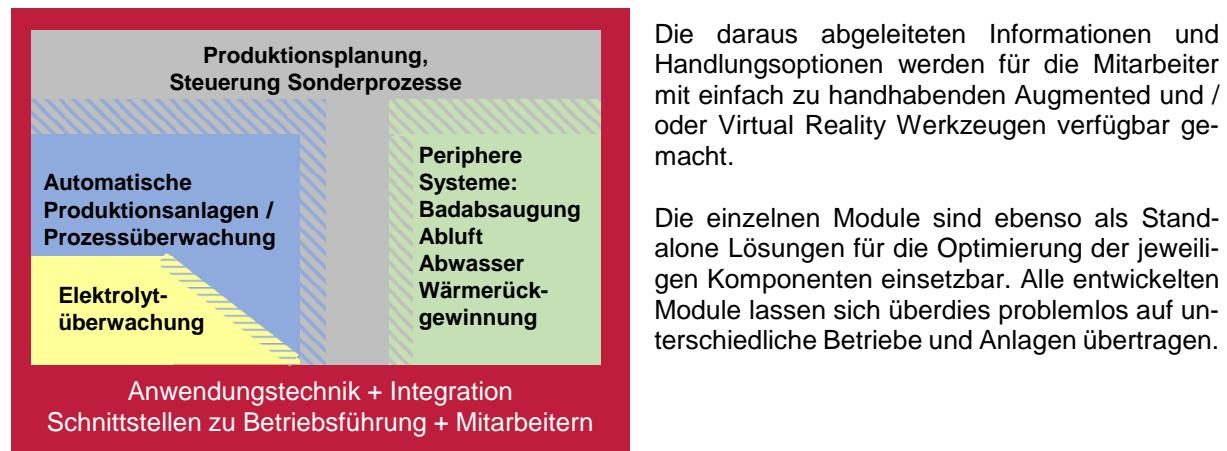
Die Umsetzung des Konzepts Industrie 4.0 in der Galvanotechnik wird von den Partnern des Verbundvorhabens seit 2015 gezielt vorangetrieben. Bisherige Entwicklungsergebnisse zeigten die technische Machbarkeit eines digitalen Zwillings zur Abbildung der galvanotechnischen Prozesskette. Eingebettet in ein cyber-phisches System wurden als erste Anwendungen Ansätze entwickelt, um simulationsbasiert die Konzentrationen von Elektrolytbestandteilen zu ermitteln und damit neue Dosierungsstrategien zu realisieren. Weiter ermöglichte die Integration von ERP-System und Anlagensteuerung neue Ansätze für eine ganzheitliche Prozessoptimierung.

Dabei wurde sehr deutlich gemacht, dass Industrie 4.0 nicht nur eine Vernetzung von Anlagen erfordert. Weil Anforderungen wachsen, Prozessabläufe komplexer werden und die Informationen zunehmen, wird der Umgang mit den bereitgestellten Informationen scheinbar immer schwieriger. Deshalb müssen die Informationen zielgerichtet für unterschiedliche Aufgaben aufbereitet und den Mitarbeitern in einfacher und auf die Betriebsabläufe abgestimmter Form zur Verfügung gestellt werden, um optimalen Nutzen zu generieren.

Dieser Herausforderung haben sich acht Unternehmen und Forschungsinstitute im Projekt SmARtPlaS („Smart Augmented Reality Plating Services“) gestellt, das mit einer Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung von 2019 bis 2023 durchgeführt wurde.

Aufbauend auf der Abbildung der galvanotechnischen Prozesskette als Digitaler Zwilling wurden in SmARtPlaS intelligente Dienstsysteme entwickelt, die einen ganzheitlich optimierten Betrieb und eine vorausschauende Wartung von Galvanikanlagen ermöglichen. Die entwickelten Dienste stellen eine modular aufgebaute Systemlösung dar, mit Modulen für den elektrochemischen Beschichtungsprozess, die Beschichtungsanlage, wichtige Peripheriesysteme wie Abluft, Kühlung, Wärmerückgewinnung und Abwasser sowie die übergeordnete Betriebsführung.

Die folgende Abbildung zeigt, wie die Module dieser Systemlösung für eine ganzheitliche Betriebsoptimierung ineinander greifen. Dabei werden mittels des digitalen Zwillings die Zustandsdaten der verschiedenen Systemkomponenten vernetzt, um daraus nachhaltig Mehrwert zu erzeugen.



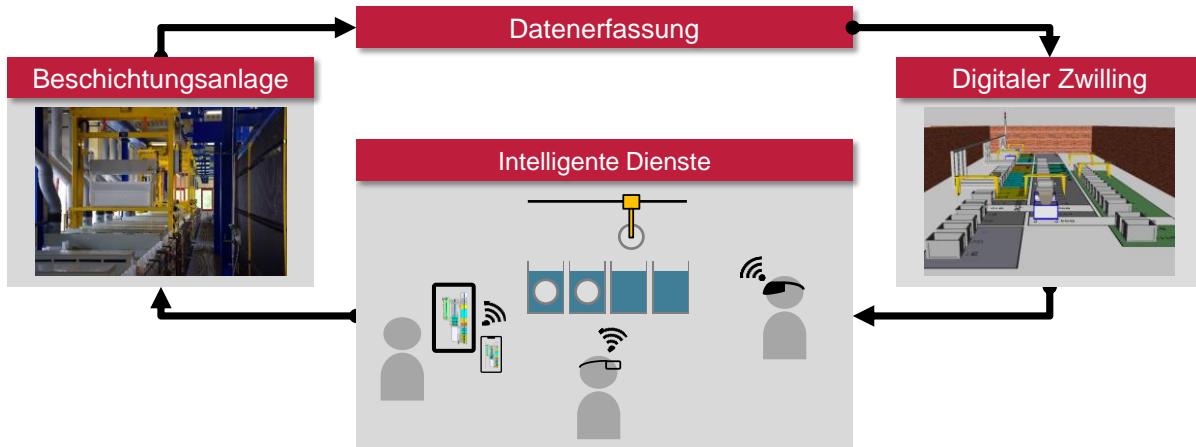
SmARtPlaS Servicemodule, Quelle eiffo e.G.

Cyber-phisches Produktionssystem

Als Digitaler Zwilling wird ein digitales Abbild des realen Produktes/Prozesses bezeichnet, welches ein vollständig dimensioniertes und skaliertes 3D-Modell unter Berücksichtigung aller Materialien, Teile sowie Prozesse darstellt [1]. Damit wird das physische System, hier die Galvanoanlage, in einer Simulationsumgebung abgebildet. Möglich sind hierbei (a) modellbasierte Ansätze (Smart Data), welche meist auf physikalischen und chemischen Modellen auf Basis von Expertenwissen beruhen oder (b) datenbasierte Ansätze, die auf der automatisierten Auswertung großer Datensätze einer bereits bestehenden Anlage beruhen. Auf beide Umgebungen können die Algorithmen des maschinellen Lernens angewendet werden [2, 3, 4].

Für die Anwendung zur intelligenten Steuerung von Betriebsprozessen wird der digitale Zwilling als Cyber-System in einem sogenannten cyber-phischem Produktionssystem eingebettet (CPPS, siehe folgende Abbildung).

In diesem CPPS können Zustandsdaten aus den Beschichtungsprozessen, der Abluftanlage, von einzelnen Aggregaten usw. zum Beispiel für die vorausschauende Wartung aufbereitet werden. Die Datenaufbereitung erfolgt über Data Mining-Ansätze oder Simulationsansätze und mündet in der Bereitstellung **zielgerichteter Informationen in Form** intelligenter Dienste für die Betriebsführung. Diese ermöglichen dann im gewählten Beispiel eine vorausschauende Planung von Wartungsarbeiten oder im akuten Wartungs-/Störfall für das Wartungspersonal die Bereitstellung umfangreicher Informationen zur Anlage in Echtzeit mittels AR Technologien.



*Cyber-physisches Produktionssystem als Grundlage für intelligente Dienste und Software-Tools.
Quelle: IWF, TU Braunschweig*

Modell- und datenbasierte vorausschauende Produktion und Wartung

Modellbasierte Ansätze beinhalten gemäß der VDI-Norm 3633 das "Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind; insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt." [VDI 2014]. Die Vorteile einer Simulation von Produktionssystemen bestehen darin, dass damit ohne Eingriff in den Betrieb unterschiedlichste Optimierungsmöglichkeiten untersucht werden können. Im Galvanikbetrieb können so z. B. verschiedene Anlagen- und Elektrolytfahrweisen untersucht werden, ohne direkt in das physische System einzutreten.

Datenbasierte Ansätze oder auch Data Mining sind für die Auswertung großer Datensätze konzipiert. Die Daten, wie z. B. aus der Galvanik-Anlagensteuerung, werden mithilfe von Algorithmen des Maschinellen Lernens analysiert, mit dem Ziel, Muster und Verknüpfungen in den Daten aufzudecken.

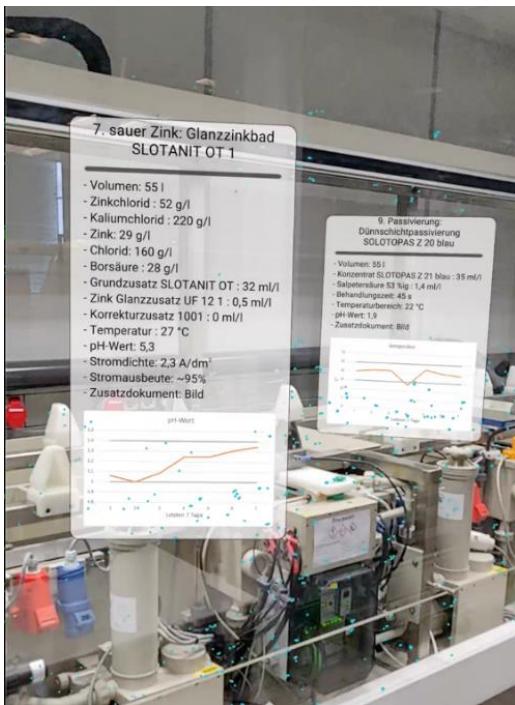
Diese beiden Ansätze werden in SmARtPlaS sowohl einzeln als auch kombiniert eingesetzt. Die modellbasierte Simulationsumgebung ermöglicht es mit verhältnismäßig geringem Aufwand eine Vielzahl von Prozessparameterkombinationen zu untersuchen. Daraus ergeben sich ganz neue Möglichkeiten für die multiple Optimierung der Prozessführung im Hinblick auf Anlagendurchsatz, Energieeinsparung, Beschichtungsqualität, vorausschauende Wartung usw.

Mixed Reality

Mixed Reality bezeichnet die Anreicherung der realen Welt mit virtuellen Informationen bis hin zu einem vollständigen Eintauchen in eine virtuelle Welt (Virtual Reality, siehe Abb. rechts).



*Virtuelle Galvanikanlage von B+T:
Einblenden von Messdaten*



AR App von Softec: Einblenden von Anlagendaten an der Lerngalvanik von Fraunhofer IPA

Wartungsmaßnahmen optimal planen lässt sondern auch über BigData ein "predictive maintenance" als Smart-Service ermöglicht.

Softec in Karlsruhe ist Spezialist für ERP-Software für Oberflächenveredler. In SmARtPlaS entwickelte Softec intelligente Assistenzsysteme zur Betriebsführung und Entscheidungsfindung. Schwerpunkte waren dabei das Zusammenführen von Daten der unterschiedlichen Komponenten, Betriebsprozesse und Systeme und die zielgerichtete Bereitstellung dieser Informationen. Dafür war es ein Ziel der Entwicklung einer Augmented-Reality-Applikation, Mitarbeitern ein universelles Werkzeug an und in die Hand zu geben, das an vielen Stellen im Unternehmen Informationen direkt vor Ort sichtbar macht. Mit der App können z.B. Live-Daten von Anlagen direkt in das Kamerabild eingeblendet werden. Damit hat der Mitarbeiter ganz einfach immer alle Informationen vor Ort zur Hand. Er muss nur sein Smartphone aus der Tasche ziehen und das Handy zum Beispiel auf eine Anlage richten und die relevanten Betriebsdaten werden direkt in das Kamerabild eingeblendet. Über eine Smart-Factory-Schnittstelle greift das Handy auf die Daten unterschiedlichster Anlagen zu. Die Anlagen oder deren Steuerung müssen nur die relevanten Daten an einen standardisierten, simplen MQTT-Server übertragen. Der Mitarbeiter wird aktiv auf Abweichungen und Werte außerhalb der Toleranzgrenzen hingewiesen und kann aus der AR-App direkt Wartungs-, QS- oder Rückmeldeprogramme aufrufen. Die Anwendung kann ohne Datenbrille direkt auf einem normalen Smartphone betrieben werden, das keine zusätzliche, mit Kosten verbundene Infrastruktur benötigt.

Airtec Mueku aus Elsoff ist Komplettanbieter für Abluftreinigung, Lüftungsanlagen, Kühlssysteme und Wärmerückgewinnung. Für die Digitalisierung dieser komplexen Systeme wurden adäquate Methoden und Werkzeuge entwickelt, die auch für diese peripheren Produktionssysteme eine optimierte, energie sparende Prozessführung und vorausschauende Wartung ermöglichen. Durch die bedarfsgerechte Wartung wird die Anlagenverfügbarkeit beim Kunden signifikant erhöht. Ergänzt wird die digitale Prozessüberwachung durch moderne Online-Sensorik wie zum Beispiel eine integrierte Brandfrüherkennung.

ancosys (heute Nova Measuring Instruments GmbH) ist Anbieter von chemischen Analyse- und Messlösungen insbesondere für die moderne Halbleiterfertigung und entwickelte im Projekt ein System zur vorausschauenden Wartung komplexer elektrochemischer Beschichtungsprozesse.

Die Entwicklung der erforderlichen neuen Prozessmodelle und der darauf aufbauenden Simulationsverfahren für die kontinuierliche Überwachung und Optimierung der oben genannten Betriebsprozesse er-

Augmented Reality (AR) vereint reale und virtuelle Inhalte dreidimensional und in Echtzeit durch den Einsatz entsprechender Technologien (siehe Abb. links). In Abgrenzung zur Virtual Reality bleibt der Anwender mit allen Sinnen in seiner Umgebung und bekommt zusätzlich computergenerierte Inhalte angezeigt. Dadurch ergeben sich zahlreiche neue Möglichkeiten zur Unterstützung von neuen Servicekonzepten.

Umsetzung der Entwicklung

Die **B+T Unternehmensgruppe** in Hüttenberg stellte die industrielle Entwicklungsumgebung und die notwendigen, umfangreichen Prozessdaten und -analysen bereit und setzte die Methoden und Werkzeuge zur Visualisierung von Anlagen, Prozess- und Peripheriedaten, Algorithmen zur Entscheidungsfindung bis zur IT-gestützten Mitarbeiterführung, auch anhand von Interaktionen mit Vorgängen aus den PPS-Systemen und Peripher-Systmen in der Produktion an den Standorten Wetzlar und Hüttenberg um.

Als kompetenter Digitalisierungspartner rund um die Galvanik entwickelte **DiTEC** aus Heidelberg intelligente Assistenzsysteme zur Verbesserung von Prozesssicherheit, Transparenz und Dokumentation durch vorausschauende Anlagen- und Elektrolytwartung. Es wurde ein Wartungsmanagement- Tool entwickelt, das nicht nur

folgte in einer engen Kooperation zwischen dem **Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)** in Stuttgart und dem **Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF)** der Technischen Universität Braunschweig. Die von IPA und IWF entwickelten Modelle und Methoden stellten dabei die Entwicklungshilfsmittel zur Verfügung, um das komplexe vernetzte System der galvanotechnischen Produktionsprozesse zunächst zu modellieren und zu optimieren und darauf aufbauend die bestehenden ERP- und Anlagensteuerungssysteme im Verbund mit den Produktionsprozessen im Sinne eines durchgängigen CPPS-Konzepts zu erweitern. Die verfahrensbezogene, umfangreiche Erfassung der Prozessdaten und die modellgestützte Analyse ermöglichen dann eine dynamische Steuerung der Produktionsprozesse mit bisher nicht gekannter Genauigkeit in einem sehr engen Prozessfenster.

Das Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement der Universität Stuttgart (IAT) unterstützte den gesamten Entwicklungsprozess mit Blick auf die Bereitstellung mitarbeitergerechter Dienste für die Galvanikbetriebe und entsprechender Servicekonzepte. Daraus resultiert insgesamt der sehr hoher Anwendernutzen des in SmARtPlaS entwickelten „Intelligent Plating“ Konzepts.

-
- [1] Grieves M., Vickers, J: Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, New Findings and Approaches.
 - [2] Leiden, A.; Thiede, S.; Herrmann, C.: Cyber-physische Produktionssysteme für die Galvanotechnik; WOMAG, WOTech Technical Media, Waldshut, Ausgabe 12/18.
 - [3] Leiden, A., Herrmann, C., Thiede, S.: Cyber-physical production system approach for energy and resource efficient planning and operation of plating process chains in Journal of Cleaner Production, DOI: 0.1016/j.jclepro.2020.125160, 2020.
 - [4] Leiden, A., Thiede, S., Herrmann, C.: Agent-Based Simulation Approach for Occupational Safety and Health Planning: A Case of Electroplating Facilities in Simulation Notes Europe, DOI: 10.11128/sne.30.tn.10537, 2020.

AP 1: Sachbericht von Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) an der Universität Stuttgart

Lena Ahner und Dr. Alexander Gorovoj, IAT-Universität Stuttgart, sowie Christian Schiller und Dr.-Ing. Mike Freitag, Fraunhofer IAO

Teil I: Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Zielsetzung des Vorhabens ist es, Vorgehensweisen und Methoden für die Erstellung von Geschäftsmodellen und Servicekonzepten in der Galvanotechnik zu entwickeln und zu validieren. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Nutzbarkeit der Ergebnisse durch kleine und mittelständische Unternehmen (KMU).

Neben der übergeordneten Zielstellung werden innerhalb des beantragten Vorhabens folgende Teilziele verfolgt:

- Entwicklung eines agilen Dienstleistungsentwicklungsmodells für die Galvanotechnik,
- Generierung neuer Serviceangebote für die drei Anwendungsfelder,
- Entwicklung der Geschäftsmodelle für die drei Anwendungsfelder,
- Entwicklung der Servicekonzepte für die drei Anwendungsfelder und
- umfassende Öffentlichkeitsarbeit und begleitende Transfermaßnahmen, um die Ergebnisse des Vorhabens für KMU zugänglich zu machen.

Die Bearbeitung des Vorhabens erfolgt in einer ganzheitlichen Vorgehensweise. Zum einen werden technische und organisatorische Aspekte des Servicegeschäfts in der Galvanotechnik integriert betrachtet.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Gerade durch die technologischen Entwicklungen von Industrie 4.0 und digitalen Services wird es für viele Unternehmen einfacher, digitale Dienstleistungen in kürzeren Zeiträumen zu entwickeln und diese umzusetzen. Aber auch bestehende Dienstleistungen sollten darauf geprüft werden, ob sie zumindest in Teilen digitalisiert werden können.

Die Strategie der gemeinsamen Nutzung von Diensten wird angewendet, um die Geschäftsprozesse neu zu organisieren und um die verstreuten materiellen und immateriellen Firmenressourcen in verbesserter Weise einzusetzen und zu nutzen. Dies bedeutet, dass Unternehmen die Fähigkeit haben müssen, Ressourcen und Dienstleistungen neu zu entwickeln und zu konfigurieren.

Somit besteht gerade in der Galvanotechnik ein hoher Forschungsbedarf zum systematischen und ganzheitlichen Einsatz von Entwicklungsmethoden zum Aufbau von Smart Services.

3. Plan und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)

Um Smart Services zu entwickeln wird ein iterativer und agiler Lösungsansatz verfolgt. Er besteht im Wesentlichen aus der Kombination der Vorgehensweisen zur Geschäftsmodellentwicklung und dem Service Engineering. Diese Methoden unterstützen methodisch fundiert die systematische Entwicklung neuer Dienstleistungen unter Einbindung von Kunden und Mitarbeitern. Auf diese Weise entstehen individualisierte Produkt-Service-Bündel für mittelständische Unternehmen aus der Galvanotechnik. Folgenden Ablauf hatte das Vorhaben:

- Entwicklung eines agilen Dienstleistungsentwicklungsmodells für die Galvanotechnik
- Definition und Generierung neuer Serviceangebote
- Ermittlung von Anforderungen
- Entwicklung der Geschäftsmodelle
- Entwicklung der Servicekonzepte

4. Wesentliche Ergebnisse im Überblick

- Freitag, Mike; Hämerle, Oliver (2020): Agile Guideline for Development of Smart Services in Manufacturing Enterprises with Support of Artificial Intelligence. In: Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems. IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2020. Proceedings. Page 645-652.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-57993-7_73
- Freitag, Mike; Hämerle, Oliver (2021): Die Entwicklung von Smart Services im Maschinen- und Anlagenbau. Ein Leitfaden. Fraunhofer IAO
<https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/bbd2c9b8-e0bd-4abd-b0df-c640674d724f/details>
- Schiller, Christian; Freitag, Mike; Leiden, Alexander; Herrmann, Christoph; Gorovoj, Alexander; Hering, Patric; Hering, Sascha (2022): Reference Model for Product-Service Systems with an Use Case from the Plating Industry. In: Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing and Logistics Systems: Turning Ideas into Action. IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2022, Gyeongju, South Korea, September 25-29, 2022, Proceedings, Part I, page 335-342.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-16407-1_40

5. Ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen erfolgte insbesondere im Rahmen des Begleitvorhabens „Innovationen nachhaltig gestalten“ vom ISF in München. Das Fraunhofer IAO unterstützte dabei das ISF durch die Teilnahme an mehreren Symposien im Rahmen der Begleitforschung.

Zuwendungsempfänger: Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) an der Universität Stuttgart	Förderkennzeichen: 02K18D112
Förderprogramm: Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen	
Titel des Vorhabens: Entwicklung von Servicekonzepten und Geschäftsmodellen für intelligente Dienste in der Galvanotechnik (SmARtPlaS)	
Projektleiter/ Projektleiterin: Lena Ahner	Tel.: +49 0711 970-5314 E- Mail: lena.ahner@iat.uni-stuttgart.de
Laufzeit des Vorhabens von: 01.10.2019	bis:31.03.2023

Teil II: Eingehende Darstellung

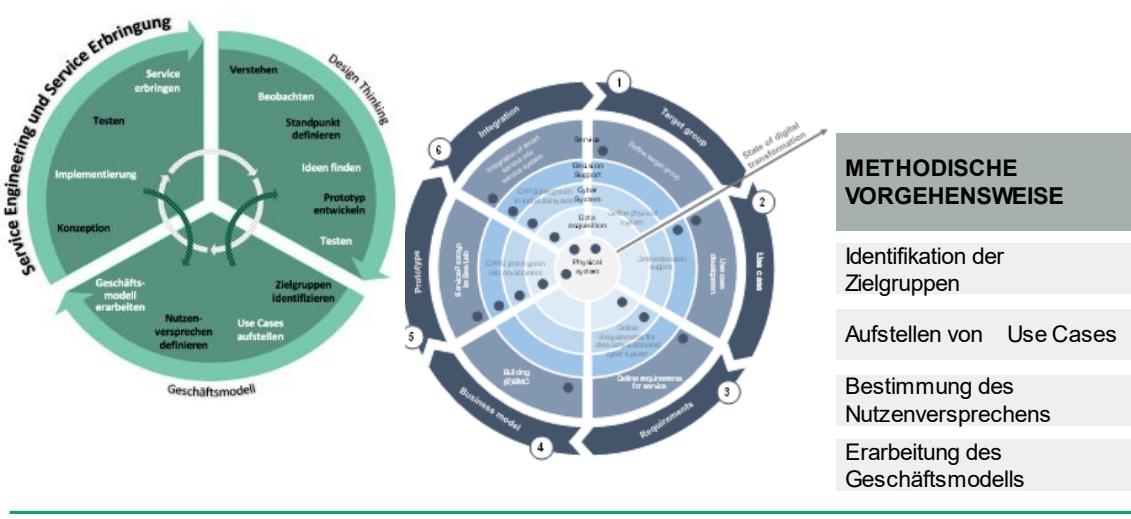
1. Ausführliche Darstellung durchgeföhrter Arbeiten (im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)

1.1. Entwicklung eines agilen Dienstleistungsentwicklungsmodells für die Galvanotechnik

Die Entwicklung eines effizienten Dienstleistungsentwicklungsmodells für die Galvanotechnik beinhaltet die Schaffung eines strukturierten Prozesses, um Dienstleistungen erfolgreich zu entwickeln und anzubieten. Dabei werden verschiedene Phasen wie die Analyse der Kundenanforderungen, die Konzeption und Gestaltung der Dienstleistung, die Umsetzung und schließlich die Evaluierung und Verbesserung durchlaufen. Durch eine systematische Vorgehensweise können Unternehmen in der Galvanotechnik sicherstellen, dass ihre Dienstleistungen den Bedürfnissen und Erwartungen der Kunden entsprechen. Dabei ist es wichtig, Feedback von Kunden und Stakeholdern einzuholen und kontinuierlich zu evaluieren, um Verbesserungspotenziale zu identifizieren und umzusetzen. Das Dienstleistungsentwicklungsmodell ermöglicht es Unternehmen, ihre Galvanotechnik-Dienstleistungen kontinuierlich zu optimieren und wettbewerbsfähig zu bleiben. Es basiert auf einer intensiven Literaturrecherche sowie dem Austausch mit Experten.

Vorgehensmodell Produkt-Service-Systeme

Entwicklung in drei Schritten



Seite 1
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT

Fraunhofer
IAO

Abb. 1: Vorgehensmodell für Produkt-Service-Systeme in der Galvanotechnik

Um die wissenschaftliche sowie praktische Weiterverwertung sicherzustellen, wurde das im Rahmen der Projektbearbeitung entwickelte agile Dienstleistungsentwicklungsmodell in mehreren Publikationen veröffentlicht und auf verschiedenen Events präsentiert.

1.2. Definition und Generierung neuer Serviceangebote

Im Rahmen des Projekts wurde ein Symposium konzipiert und durchgeführt. Das Ziel des Symposiums bestand darin, das interdisziplinär aufgestellte Projektkonsortium, bestehend aus Experten der Hard-/Software-Analytik und -Entwicklung, Galvanotechnik, Produktion, Abluftsystemmanagement, Organisationsentwicklung sowie Dienstleistungsmanagement zusammenzubringen und eine Plattform für den Austausch von Wissen und Erfahrungen zu bieten. Das Symposium umfasste Vorträge, Diskussionsrunden und Networking-Möglichkeiten. Ein Fokus wurde dabei auf die Entwicklung von Serviceangeboten gelegt. Die Diskussionsrunden ermöglichten den Teilnehmern, ihre Ideen und Meinungen einzubringen und gemeinsam mittels Design-Thinking neue Lösungsansätze zu erarbeiten. Der intensive Austausch unter den Experten trug zur Erweiterung des Wissensstands und zur Identifizierung von Herausforderungen und Möglichkeiten bei. Die Dokumentation des Symposiums erfolgte sorgfältig, um die präsentierten Inhalte und Diskussionsergebnisse festzuhalten. Diese Dokumentation diente als Referenzmaterial für die Teilnehmer und als Grundlage für weitere Forschungs- und. Insgesamt war das

Symposium ein großer Erfolg und trug maßgeblich zur Förderung des Wissensaustauschs und zur Stärkung der Zusammenarbeit innerhalb des Projektkonsortiums bei. Die Veranstaltung bot eine Plattform für den Dialog zwischen Experten und ermöglichte es, neue Erkenntnisse zu gewinnen und innovative Lösungsansätze zu entwickeln.

1.3. Ermittlung von Anforderungen

Die Anforderungsanalyse ist von großer Bedeutung für die Entwicklung eines Geschäftsmodells und neuer Serviceangebote. Sie ermöglicht es Unternehmen, die Bedürfnisse und Anforderungen ihrer Kunden genau zu verstehen und passgenaue Lösungen zu entwickeln. Durch die Analyse der funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen können Unternehmen die Kundenperspektive einnehmen und ein Geschäftsmodell entwickeln, das auf die Zielgruppe zugeschnitten ist. Darüber hinaus unterstützt die Anforderungsanalyse die Entwicklung von innovativen Serviceangeboten, indem sie Unternehmen dabei hilft, neue Lösungen zu finden und Mehrwert für die Kunden zu schaffen. Die kontinuierliche Verbesserung von Geschäftsmodellen und Serviceangeboten basierend auf den Kundenanforderungen ist entscheidend, um die Kundenzufriedenheit und langfristigen Erfolg zu gewährleisten. Um die Anforderungen an neue Geschäftsmodelle und Service-Angebote von bestehenden und potenziellen in der Galvanotechnik-Branche zu ermitteln gemeinsam mit Airtec und Eiffo gemeinsam eine Kundenbefragung durchgeführt. Hierzu wurde ein zuvor konzipierter Fragebogen verteilt, das Antworten auf die wichtigsten Leitfragen liefern sollte. Die Befragungsergebnisse wurden anschließend durch das Fraunhofer IAO ausgewertet und den Projektpartnern präsentiert (Abb. 3). Als Basis für die Befragung diente eine zuvor durchgeführte Literaturrecherche, bei der für die Unternehmen Softec und Airtec geeignete Geschäftsmodellmuster identifiziert wurden (Abb. 2).

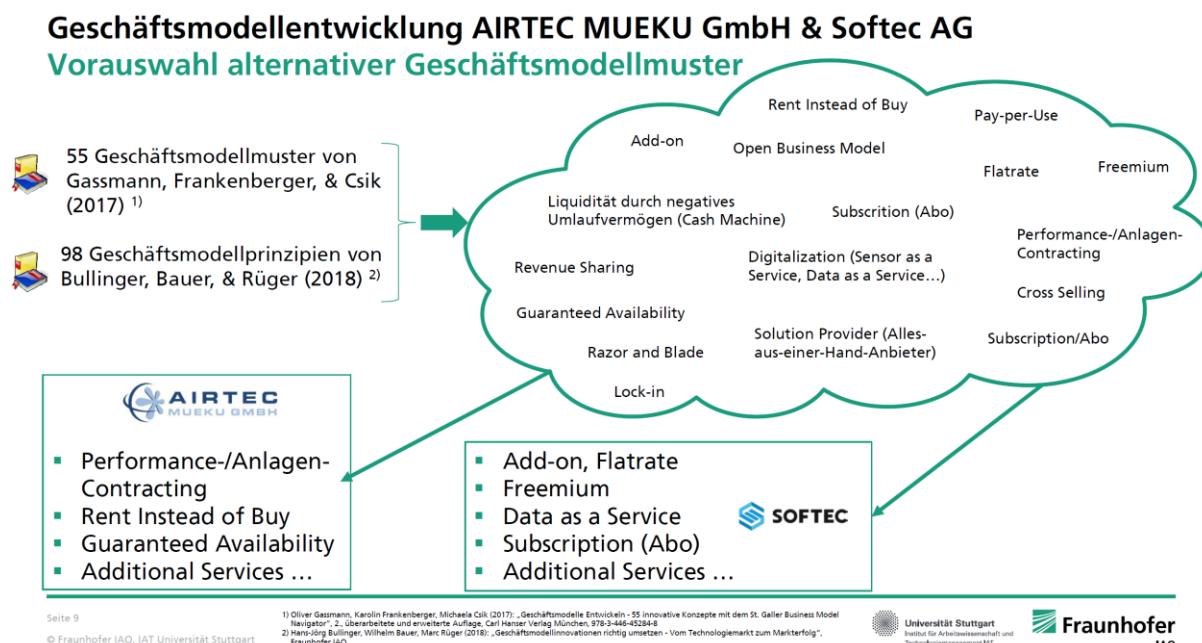


Abb. 2: Übersicht über potenzielle Geschäftsmodellmuster für Airtec und Softec

Kundenbefragung Airtec

Fragebogen zur Entwicklung des Use Cases und des Nutzenversprechens

- Auswertungen zur Attraktivität der abgefragten Dienstleistungs- und Betreibermodelle:
 - Traditionelle Geschäftsmodelle »auf Abruf« nach wie vor relativ beliebt (Bewertung: 3,8)
 - »Condition Monitoring« jedoch ebenfalls relativ gut bewertet (3,75)
 - Skepsis bei Mieten statt Kauf von Abluftanlagen (2,5)
 - Gemischte Rückmeldung gegenüber »Alles aus einer Hand« (3,0)
 - Garantierte Verfügbarkeit wird relativ positiv bewertet (3,6)



Seite 5
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT

Fraunhofer
IAO

Abb. 3: Ergebnisse der Kundenbefragung für Firma Airtec

1.4. Entwicklung der Geschäftsmodelle

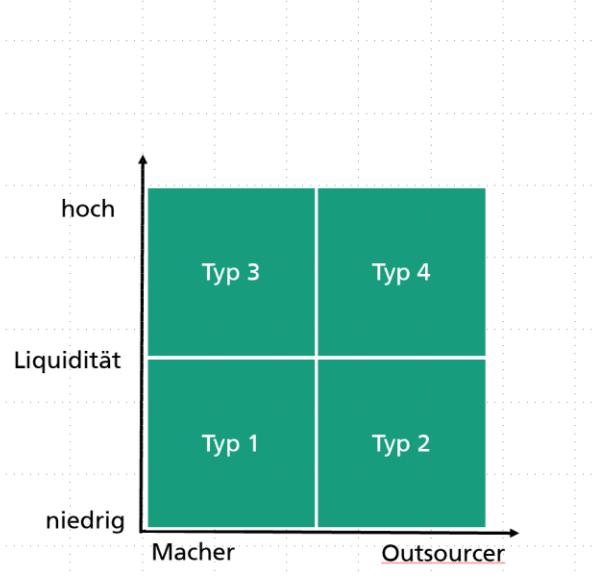
Im Rahmen des Projekts wurden gemeinsam mit den Unternehmen Airtec und Softec Workshops zur Organisation und Durchführung von Geschäftsmodellen und Produktkonzepten durchgeführt. Ziel der Workshops war es, die Ausgangslage und Herausforderungen in Bezug auf Geschäftsmodelle und Produktkonzepte in den Unternehmen zu identifizieren. Hierbei wurden verschiedene Analysemethoden angewendet, um die spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen der Unternehmen zu verstehen. Durch intensive Diskussionen und gemeinsame Brainstorming-Sitzungen konnten innovative Ideen und Lösungsansätze entwickelt werden. Die Ergebnisse der Workshops dienten als Grundlage für die weitere Entwicklung von Geschäftsmodellen und Produktkonzepten. Die identifizierten Bedürfnisse und Anforderungen wurden berücksichtigt, um maßgeschneiderte Lösungen zu erarbeiten und die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu stärken. Die enge Zusammenarbeit mit den Unternehmen Airtec und Softec ermöglichte es, das Fachwissen und die Expertise der Unternehmen in die Workshops einzubringen. Dadurch konnten realistische und praxistaugliche Geschäftsmodelle und Produktkonzepte entwickelt werden, die auf die spezifischen Anforderungen und Bedürfnisse der Unternehmen abgestimmt waren.

Die Entwicklung von Geschäfts- und Vertriebsmodellen für Airtec und Softec folgte der in Abb. 1 dargestellten Vorgehensweise. Hierzu erfolgte zunächst die Zielgruppendefinition (Abb. 4). Auch verschiedene Use Cases wurden aufgestellt und gemeinsam diskutiert.

Zielgruppendefinition

Airtec

- Folgende Zielgruppendefinitionen wurden beim Workshop vom 29.01.2020 diskutiert und als ungeeignet verworfen:
 - Inhouse vs. Lohngalvaniken
 - Kleine, mittlere und große Unternehmen
 - keine einheitliche Abgrenzung zwischen den Gruppen im Hinblick auf die Nutzung von Serviceangeboten
- Stattdessen sind Unterschiede eher im Hinblick auf Liquidität des Unternehmens im Zusammenhang mit einer Make or Buy Entscheidung erkennbar
- Dementsprechend Definition von vier Zielgruppen



Seite 10
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

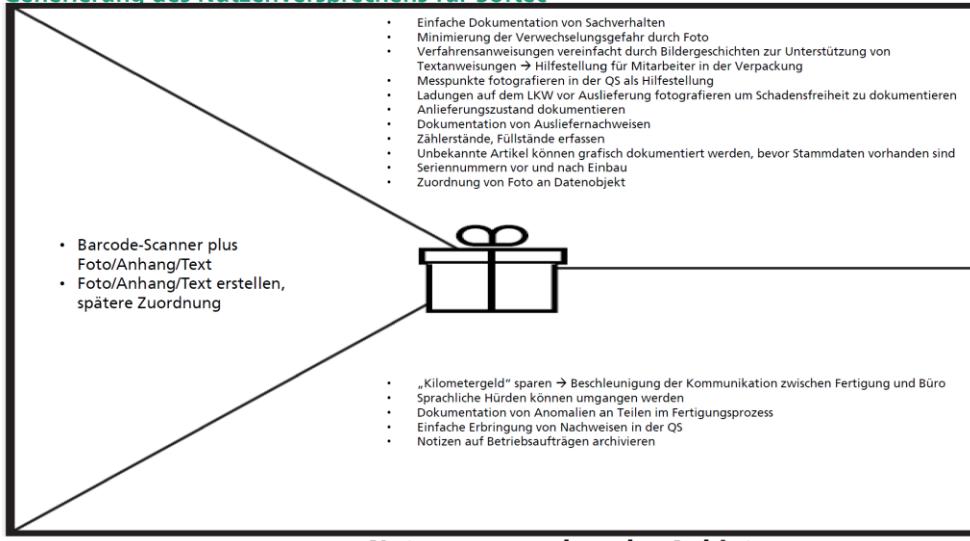
Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT

Fraunhofer
IAO

Abb. 4: Definition der Zielgruppen am Beispiel der Firma Airtec

Daraufhin erfolgte die Generierung von Nutzerversprechen mittels der Value-Proposition-Design-Methodik (Abb. 5).

Generierung des Nutzenversprechens für Softec



Seite 8
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT

Fraunhofer
IAO

Abb. 5: Generierung des Nutzerversprechens am Beispiel der Firma Softec

1.5. Entwicklung der Servicekonzepte

1.5.1. Workshop mit der Firma Airtec (Service Blueprint)

Aufbauend auf den Ergebnissen aus der Kundenumfrage zu den (gewünschten) Geschäftsmodellen (siehe Zwischenbericht für das Projektjahr 2021) wurden die dazugehörigen Services konzeptionell erstellt. Die Angebotspalette umfasst nun drei verschiedene Servicestufen – Basic, Business und Premium, die sich im Leistungsumfang sowie der Kostenstruktur voneinander unterscheiden. Um die Prozesse der Serviceerbringung zu visualisieren und die für die Kunden sichtbaren Tätigkeiten zu identifizieren, wurde gemeinsam mit der Airtec Mueku GmbH in aufeinander folgenden Workshops die zu den jeweiligen Serviceangeboten zugehörigen Service Blueprints erstellt. Dadurch konnte potenziellen Gefahren und Fehlerquellen frühzeitig Rechnung getragen und zu deren Vermeidung nötige Anpassungen vorgenommen werden.

1.5.2. Workshop mit der Firma Softec (Service Blueprint)

Ähnliche Workshops, wie mit Fa. Airtec Mueku GmbH, wurden auch mit der Softec AG für ihre Augmented-Reality-Applikation (AR-App) durchgeführt. Auch die Softec AG bietet mit ihrem Produkt unterschiedliche Leistungsstufen an. Anders als bei Airtec Mueku GmbH befindet sich hier der Variantenbildungspunkt am Ende der Leistungserbringung. Dabei definiert die Limitierung der Anzahl der möglichen virtuellen Anzeigetafeln in der Applikation die verschiedenen Leistungsstufen, sodass sich die Serviceprozesse innerhalb der verschiedenen Varianten nicht unterscheiden.

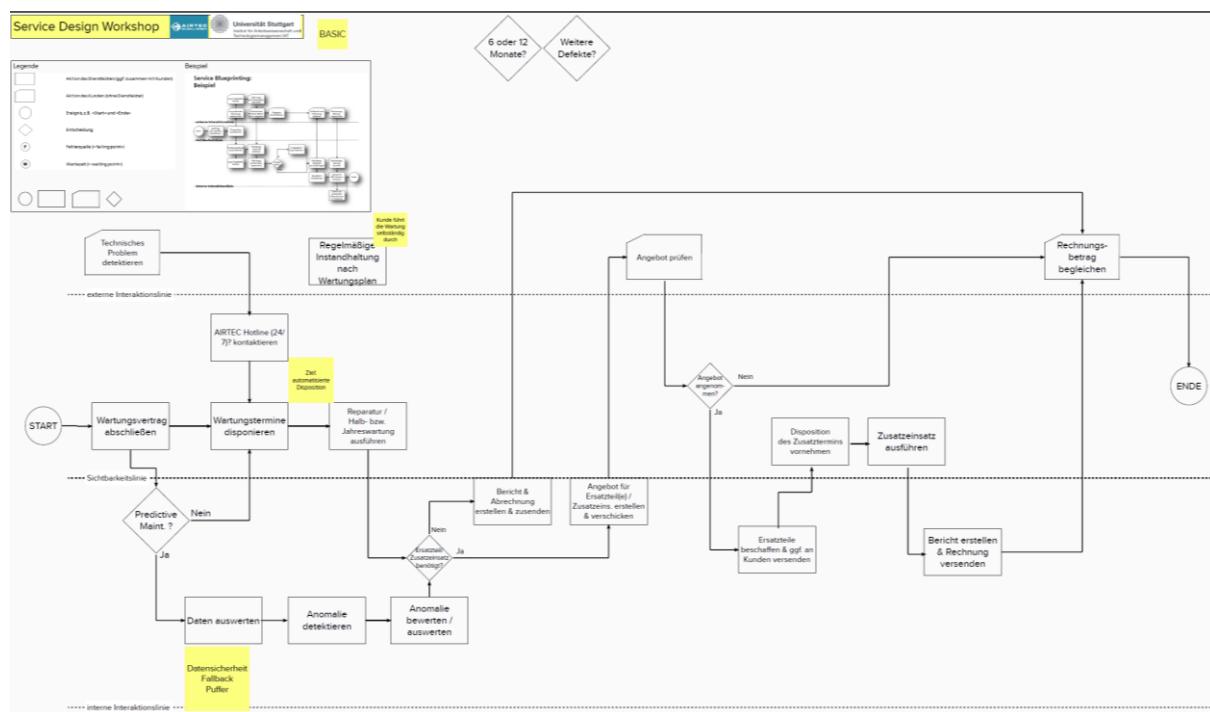


Abb. 6: Service Blueprint für den Basic-Leistungsumfang der Firma Airtec

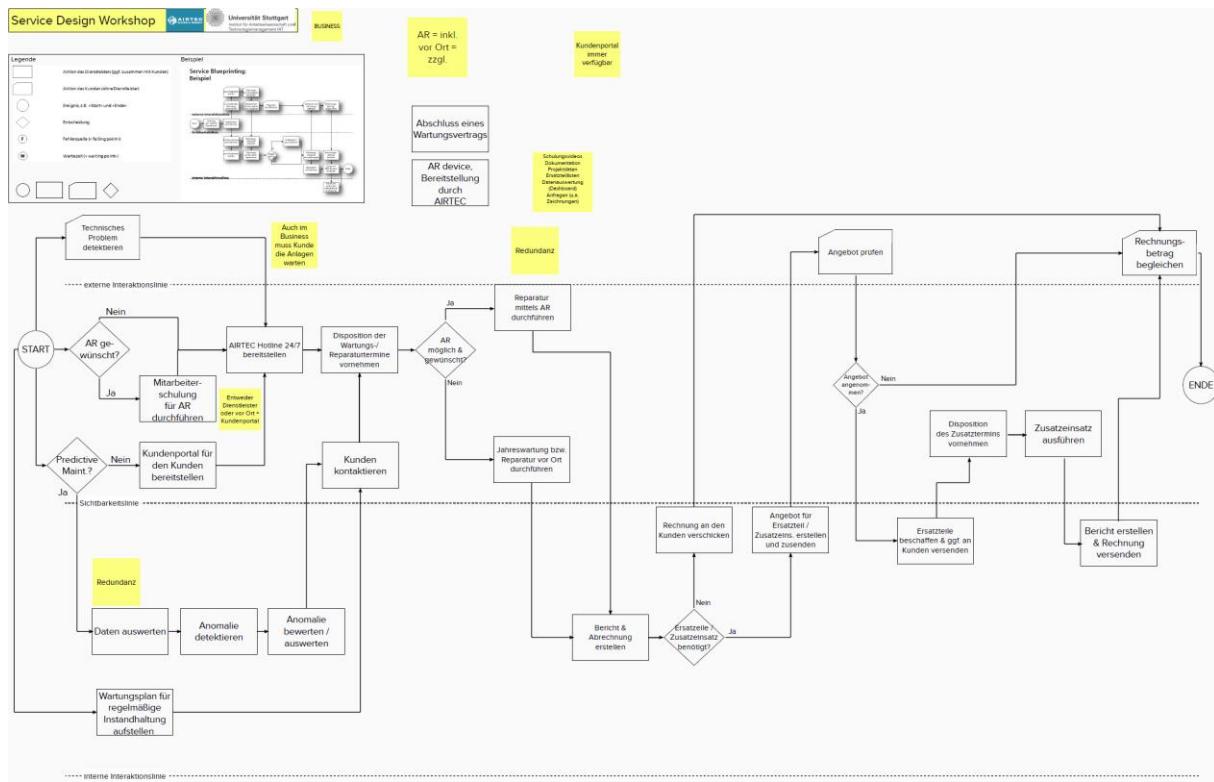


Abb. 7: Service Blueprint für den Business-Leistungsumfang der Firma Airtec

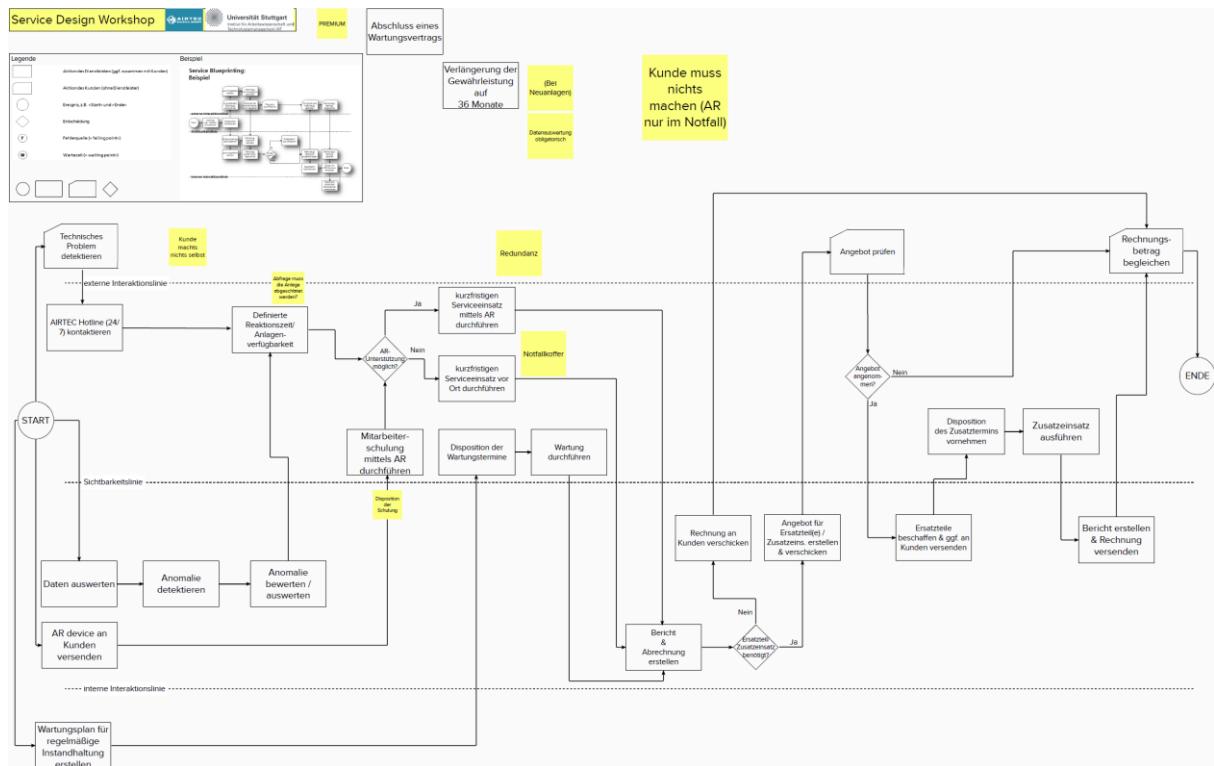


Abb.8: Service Blueprint für den Premium-Leistungsumfang der Firma Airtec

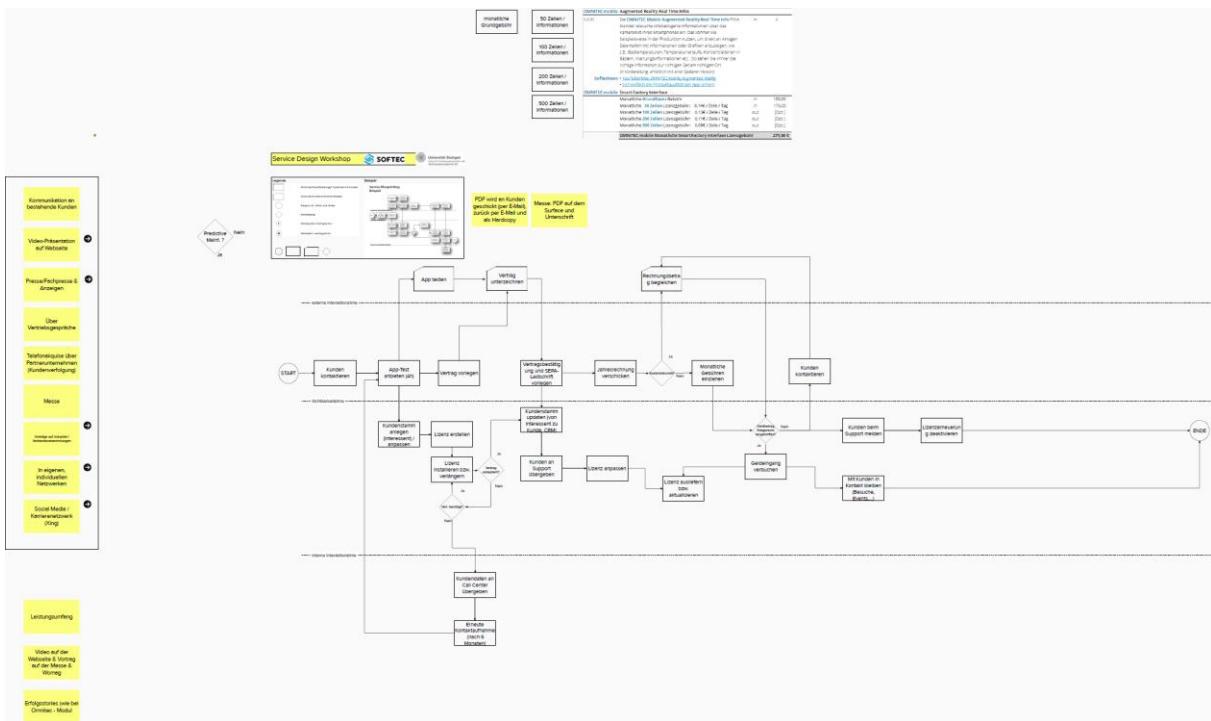


Abb. 9: Ein Service Blueprint für die verschiedenen Leistungsumfänge für Firma Softec

2. Erzielte Ergebnisse

Öffentlichkeitsarbeit

- Leiden, A., Freitag, M., Schwanzer, P., Karl, A., Schiller, C., Kölle, S., Herrmann, C. (vorr. 2020) Entwicklung von Smart Services – Ein Bezugsrahmen und Anwendung in der Galvanotechnik. In: Jahrbuch Oberflächentechnik. Eugen G. Lenze Verlag
- Freitag M., Hämerle O. (2020) Agile Guideline for Development of Smart Services in Manufacturing Enterprises with Support of Artificial Intelligence. In: Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems. APMS 2020. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 591. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_7
- Webinare zum Thema Smart Services



Transfer I

Konferenz **Advances in Production Management Systems (APMS)**



- Vortrag am 5. September 2021 und Publikation in den Proceedings (SCOPUS gelistet)
 - Freitag, M.; Schiller, C.; Häammerle, O.: Guideline to Develop Smart Service Business Models for Small and Medium Sized Enterprise
 - DOI: 10.1007/978-3-030-85914-5_39
 - https://www.springerprofessional.de/guideline_to_develop_smart-service-business-models-for-small-and/19620910



Seite 14
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT

Fraunhofer
IAO

Transfer Übersicht

- Vortrag am Eiffo -Tag am 17. Juni 2021
- Vortrag am SmARTPlaS -Webinar am 7. August 2021
- Moderation der Diskussionsrunde zum Thema Pricing auf der Tagung „ Rethinking Smart Services“ am 21. September 2021 in Konstanz, Vorstellung des Projekts durch Herrn Hellmuth
- Vortrag und Extended Abstract zum Thema „Steigerung der Resilienz von KMU durch Smarte Dienstleistungen“ auf der RESER -Konferenz am 14. Oktober 2021 in Heilbronn – in Kooperation mit dem Projekt „Kompetenzzentrum Smart Services“
- Eigenes Webinar am 30. November: Smart Services in KMU
 - <https://smart-service-bw.de/webinar-smart-services-in-kmu/>

Seite 30
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT

Fraunhofer
IAO

AHFE:

Use Case: AIRTEC MUEKU GmbH



- AIRTEC MUEKU GmbH:
 - full-range supplier of exhaust air purification technologies
 - full-service provider for purification process
 - planning, development, installation and maintenance of air purification systems
- Problem:
 - Assembly of an air purification system in Mexico
 - Travel restrictions due to COVID 19 pandemic
- Solution:
 - Assignment of a local partner
 - Use of smart glasses to provide remote guidance to local personnel



Barcotec GmbH (2022)

Seite 11
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

Barcotec GmbH (2022), https://realwear.at/wp-content/uploads/2021/11/realwear_hmt1_hero-scaled.jpg

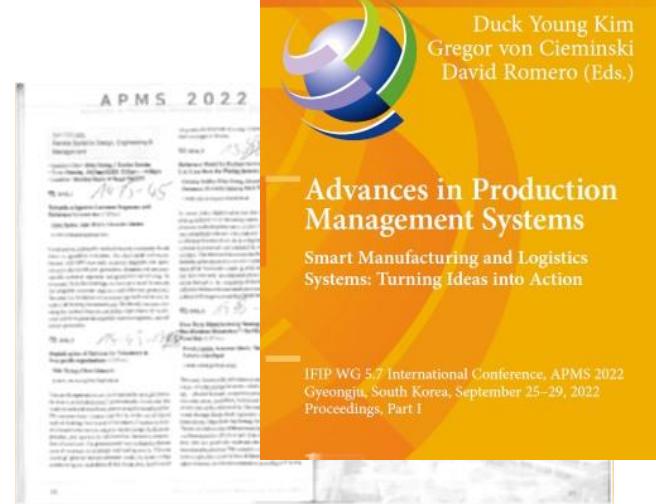
Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT

Fraunhofer
IAO

Advanced Production Management Systems (APMS 2022)

25.-30. September in Gyeongju, Südkorea

- Session
 - Service Systems Design, Engineering & Management
 - Chair:
Mike Freitag, Davide Gamba
 - 5 Vorträge,
 - Beispiele von Trumpf oder eine Service -Studie aus Italien



Seite 4
© Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT

Fraunhofer
IAO

2.1. Erstellung einer Online-Simulation der Softec-AR-App anhand des Versuchsgalvanikautomaten am Fraunhofer IPA

Damit potenzielle Kunden der Softec AG sich zeit- sowie ortsunabhängig ein Bild von einem möglichen Einsatz der AR-App machen können, wurde seitens der Universität Stuttgart eine dauerhaft verfügbare Online-Simulation der AR-App am Beispiel des Versuchsgalvanikautomaten am Fraunhofer IPA entwickelt.



3. Verwendung der Zuwendung

Position	Ausgaben
Personalkosten	276.000,00 €
Reisekosten	6.380,00 €
Projektpauschale	56.000,00 €
Summe	338.380,00 €

Tabelle 1: Ausgabenübersicht

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die Relevanz des Projektes wurde durch die Förderung und Unterstützung des BMBF deutlich gemacht und erleichtert so eine Verbreitung der Ergebnisse weit über die Projektpartnergrenzen. Eine Zielerreichung wäre ohne diese Unterstützung nicht möglich gewesen. Gerade KMUs benötigen eine systematische Unterstützung, damit diese schrittweise Smart Services entwickeln können.

5. Voraussichtliche Nutzen der Ergebnisse i.S. des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Ergebnisse des Teilvorhabens sind vom IAT der Universität Stuttgart praxisgerecht aufbereitet worden. Konkrete Verwertungsmaßnahmen bildeten die Präsentationen von Ergebnissen bei Konferenzen und in Fachpublikationen wie im Kapitel 2 der Ergebnisdarstellung beschrieben. Ferner nutzt das Institut IAT der Universität Stuttgart sein umfassendes internationales Netzwerk und stellt durch gezielte Veranstaltungsteilnahmen den Eingang der Ergebnisse in die wissenschaftliche Community sicher. Darüber hinaus finden sich die Ergebnisse auch in der Vorlesung „Service Engineering“ der Universität Stuttgart wieder.

5.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten des beantragten Vorhabens werden als hoch eingeschätzt.

So wurde die finale Version des Referenzmodells für die agile Entwicklung von Servicekonzepten in der Galvanotechnik allen interessierten Anwendern – in Abstimmung mit den übrigen Projektpartnern – zugänglich gemacht und auf der Projekthomepage veröffentlicht.

Die Ergebnisse des Projekts wurden auf folgenden Konferenzen vorgestellt:

- Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems. APMS 2020. In Serbien
- Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing and Logistics Systems: Turning Ideas into Action. APMS 2022, in South Korea.

Des Weiteren wurde das ServLab des IAT der Universität Stuttgart als eine an Wirtschaftsvertreter gerichtete Demo-Plattform für die Projektergebnisse genutzt. Zu intermediären Organisationen gehören dank eigener Mitgliedschaften beispielsweise der Serviceverbänden AFSMI. Dies wurde aktiv zur Verbreitung der Ergebnisse in KMUs genutzt.

5.2. Wissenschaftliche und/ oder technische Erfolgsaussichten

Das IAT der Universität Stuttgart ist zusammen mit dem Fraunhofer IAO bereits seit den frühen 90er Jahren als eine der ersten deutschen Forschungseinrichtungen auf dem Feld der Dienstleistungsforschung aktiv und hat dabei mit „Service Engineering“ eine wissenschaftliche Fachdisziplin begründet und zu internationaler Anerkennung geführt. Ergänzt wird dieses Wissen durch aktuelle Arbeiten im Bereich der Digitalisierung. Die Kombination beider Kompetenzen – Dienstleistungsforschung und Digitalisierung – bildete eine ideale Voraussetzung zur Bearbeitung der Fragestellungen des vorliegenden Verbundprojekts, um so die Anwendungsdomäne Galvanotechnik aus Sicht der Dienstleistungsforschung zu erschließen.

Außerdem wird das IAT der Universität Stuttgart sowohl während des Projekts als auch nach Vorhabensende seine internationalen Netzwerke für das beantragte Projekt nutzen. Dies betrifft insbesondere wissenschaftliche Communities im Bereich der Dienstleistungsforschung wie etwa der größte europäische Zusammenschluss von Wissenschaftlern im Dienstleistungsbereich RESER (European Association for Research on Services) oder die internationale Community der Konferenz APMS Advanced Production Management Systems.

5.3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Ferner stellen die Projektergebnisse den Ausgangspunkt für weitere wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet der Smart Services dar. Zum einen wird das IAT der Universität Stuttgart Synergien zu seinen Projekten im Bereich Service Engineering herstellen. Zum anderen werden neue Anträge bei Fördergebern gestellt, um die Arbeiten fortzuführen und weiterzuentwickeln. Neben den Bundesministerien erscheinen hier vor allem Ausschreibungen innerhalb des EU-Förderprogramms als eine interessante Option zur Verfestigung der Arbeiten auf nationaler und internationaler Ebene.

Eine weitere wichtige Aufgabe des IAT der Universität Stuttgart ist der Transfer von Forschungsergebnissen in die Lehre. Das IAT der Universität Stuttgart ist verantwortlich für die Vorlesungen zu Service Engineering, Technologiemanagement, Arbeitswissenschaft. Darüber hinaus halten Kolleginnen und Kollegen aktuell mehr als 20 verschiedene, dienstleistungsbezogene Vorlesungen an weiteren Universitäten, Fachhochschulen und dualen Hochschulen. Die Ergebnisse des Projekts werden für die Lehre aufgearbeitet (z.B. in Form von Vorlesungsmaterialien, Übungen und Tutorien) und in bestehende Vorlesungsangebote integriert.

6. Bekannt gewordener Fortschritt auf Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen (während Projektlaufzeit)

Während der Durchführung des Vorhabens wurden keine relevanten Fortschritte bei anderen Stellen bekannt.

7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 NKBF

Im Rahmen des Vorhabens gab es seitens des Fraunhofer IAO folgende Veröffentlichungen:

- Freitag, Mike; Hämerle, Oliver (2020): Agile Guideline for Development of Smart Services in Manufacturing Enterprises with Support of Artificial Intelligence. In: Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems. IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2020. Proceedings. Page 645-652.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-57993-7_73
- Freitag, Mike; Hämerle, Oliver (2021): Die Entwicklung von Smart Services im Maschinen- und Anlagenbau. Ein Leitfaden. Fraunhofer IAO
<https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/bbd2c9b8-e0bd-4abd-b0df-c640674d724f/details>
- Gorovoj, Alexander; Schiller, Christian; Friedrich, Michaela (2021): Towards the role of smart services as well as AI in building and enhancing organizational resilience in small and medium-sized service companies. In: European Association for Research on Services (RESER Conference) 2021. The Disruptive Role of Data, AI and Ecosystems in Services
- <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/109183cf-4183-4311-8809-34dea919548c/details>
- Schiller, Christian; Freitag, Mike; Leiden, Alexander; Herrmann, Christoph; Gorovoj, Alexander; Hering, Patric; Hering, Sascha (2022): Reference Model for Product-Service Systems with an Use Case from the Plating Industry. In: Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing and Logistics Systems: Turning Ideas into Action. IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2022, Gyeongju, South Korea, September 25-29, 2022, Proceedings, Part I, page 335-342.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-16407-1_40

AP 2: Sachbericht von DiTEC

Dr. Siegfried Kahlich & Dierk Langer GmbH

Dr. Siegfried Kahlich

Teil I: Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

1.1. Problemlage

In der mittelständisch geprägten Galvanikindustrie treffen mechanische Anlagenkomponenten auf elektrochemische Prozesstechnik, was Fachwissen aus den verschiedensten Disziplinen erfordert. Die Herstellung galvanotechnischer Oberflächen gehört somit zu den komplexesten Fertigungsprozessen in der Metallverarbeitung. Bisher erfolgt der Vertrieb von Anlagen, Chemikalien, Steuerungssystemen und technischer Gebäudeausrüstung fragmentiert und stark produktorientiert. Einzellösungen zu integrieren ist zeitaufwendig und die Erfolgsquote hängt erheblich vom jeweiligen Galvanikbetrieb ab. Zusätzlich angebotene Dienstleistungen sind selten und beziehen sich meist sehr abgegrenzt auf einzelne Produkte, wie z.B. die elektrochemische Analyse von Elektrolyten durch Chemikalienhersteller.

1.2. Verbundprojektziel

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung intelligenter Dienstleistungen und Assistenzsysteme als Ergänzung der Prozesssteuerung, mit deren Hilfe der Anlagenbetreiber zukünftig in der Lage sein soll, den Produktionsprozess ganzheitlich in Hinblick auf wirtschaftliche, qualitative und ökologische (Ressourceneffizienz, Emissionen) Zielsetzungen zu optimieren. Ziel von DiTEC ist es deshalb, die Prozesssteuerung in Verbindung mit entsprechenden Internet-basierten Diensten (auch Vernetzung zu weiteren intelligenten Produktionssystemen, ERP, Assistenten etc.) so „intelligent“ zu machen, dass der Produktionsprozess ganzheitlich, flexibel und kurzfristig mit wechselnden Zielsetzungen optimiert werden kann. Besonders wichtig für eine wirtschaftliche, qualitätssichere und ökologische Prozessführung sind folgende Punkte:

- Kontinuierliche Überwachung und vorausschauende Wartung der Anlagentechnik
- Optimierung des Ressourcenverbrauchs (kombinierter Energie- und Stoffeinsatz, bes. Chemikalienverbrauch, Verschleppung in Abwasser usw.)
- Kontinuierliche Überwachung und vorausschauende Wartung der Prozessbäder in der (Industrie-) Galvanikanlage hinsichtlich Chemikalienkonzentration und Einhaltung wichtiger Prozessparameter

Hierfür beabsichtigt DiTEC, intelligente Dienste als Ergänzung des bestehenden Produktprogramms zu entwickeln und das Geschäftsmodell entsprechend zu erweitern.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Die Umsetzung von Industrie 4.0 in der Galvanotechnik steht erst am Anfang. Lösungsansätze aus dem Bereich der mechanischen Fertigungstechnik (z.B. spanende Teilefertigung, Montage usw.) sind aufgrund der Besonderheiten und höheren Komplexität der Produktionstechnik und -organisation für die elektrochemischen Beschichtungsprozesse nicht übertragbar. Die im Innovationsnetzwerk „eiffo:net“ durchgeföhrten und laufenden Entwicklungsarbeiten zur Umsetzung des Industrie4.0 Konzepts in der Galvanotechnik, an denen die SmARtPlaS Partner und namentlich DiTEC maßgeblich beteiligt sind, sind in der Branche derzeit wegweisend. Vergleichbare Entwicklungen oder gar Lösungen sind am Markt nicht bekannt. Dies zeigen alle aktuelle Branchenveranstaltungen, zu denen zu dem für die Branche sehr wichtigen Thema Fachvorträge beinahe ausschließlich aus dem Kreis dieser Netzwerkpartner bestritten werden. Insbesondere gibt es bisher keinerlei Ansätze für die Realisierung intelligenter Dienstleistungen zur Darstellung von vorausschauender Anlagen- und Elektrolytwartung und intelligenter Assistenzsysteme, obwohl dies für die ständig wachsenden Marktanforderungen an Prozesssicherheit, Transparenz und Dokumentation sowie als Antwort auf den allgegenwärtigen Fachkräftemangel dringend notwendig ist.

3. Plan und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)

Im Wesentlichen wurde der Projektplan eingehalten. Die Ursprüngliche Projektlaufzeit betrug 3 Jahre, vom 01.10.2019 bis 30.09.2022. Unter anderem durch die Pandemieauswirkungen wurde das Projekt um ein halbes Jahr kostenneutral verlängert bis zum 31.03.2023. Im Projektverlauf gab es aus Gründen technischer Sinnhaftigkeit oder Datenlagen kleinere zeitliche Reihenfolgeänderungen in den Unterarbeitspaketen, die die zielführende Erforschung unterstützt haben. So konnten alle Arbeitspakete erfolgreich abgeschlossen werden.

4. Wesentliche Ergebnisse im Überblick

4.1. Erkenntnis zu Augmented Reality Technologien

Es wurden diverse Hardware-Technologien aus dem Bereich der Mixed Reality getestet, von Smartphones über AR-Brillen bis hin zu VR-Lösungen. Verschiedene Vor- und Nachteile ließen auf eine zeitliche und anwendungsabhängige Variation der einzusetzenden Hardware-Technologie schließen. Als Ergebnis ergibt sich die Anforderung AR-gestützte Smart Services so zu entwickeln, dass sie leicht an neue Hardware-Technologien anpassbar/integrierbar sind. Im Projekt erwiesen sich Smartphone (Verfügbarkeit, Mobilität/Hosentasche) und Tablet (Ergonomie/großer Bildschirm) als geeignete Hardware, während z.B. AR-Brillen trotz vielversprechender Vorteile (freie Hände) aufgrund diverser Nachteile (hohe Kosten, Arbeitsschutz, Ergonomie, Entwicklungsreife/Sichtfeld, Umgebungsbedingungen) noch eine aktuell zu weit entfernte Vision darstellen.

4.2. Einsatzbereite Versuchs- und Demoanlage

Es steht eine einsatzbereite Versuchs- und Demoanlage zur Verfügung, um die Smart Services zu testen. Der Aufbau sowie die Nutzung der Demoanlage DIT1 direkt vor Ort bei den Softwareentwicklern hat die Versuchzyklen stark beschleunigt.

4.3. Funktionierender Versuchsaufbau einer Smart Service Cloud

Am Versuchsaufbau wurden erfolgreiche virtuelle und reale Tests zu Datenübertragungen zwischen DiTEC und den Projektpartnern durchgeführt, sowie virtuelle als auch reale Anlagen angebunden.

4.4. IPA1-Anlage und Kooperation mit IWF und IPA

Die Implementierung von Software Progal und der Software-Versuchsaufbauten in der Anlage des IPA ermöglichte sehr Praxisnahes Forschen und Testen der Smart Services und trug wesentlich zum Projektfortschritt bei. Die Nutzung der Lerngalvanik IPA1 und der Austausch mit den Partnern IWF und IPA war sehr gewinnbringend für die Forschungen mit dem Schwerpunkt auf dem Bad-/Elektrolytmanagement. Durch die Entkopplung von Produktionsdruck in Kombination mit einer Anlage mit praxisüblicher Peripherie und realen Elektrolyten entstand hier die Basis für eine Vielzahl innovativer Anwendungslösungen und es konnten qualitativ gute und große Datenmengen für die Forschung gewonnen werden.

4.5. DiTEC-Cloud als Basis für AR-App-Nutzung in Galvaniken

Ein wesentliches Ergebnis der Kooperation mit Softec ist eine praktisch getestete AR-Anwendung (Softec) mit direkter Anbindung an Galvanikanlagen und deren Smart Services (Ditec). Dabei werden über die DiTEC-Cloud Daten bereitgestellt und in der AR-App angezeigt. Die entwickelte Architekturlösung ermöglicht über standardisierte Schnittstellen eine gute Integration weiterer Smart Services.

4.6. Weitere Projektergebnisse

- Ein Versuchsaufbau konnte erfolgreich als erster Generator für den digitalen Basis-Zwilling zur Untersuchung und Entwicklung von Smart Services entwickelt werden.
- Identifikation von Transportwagen als besonders geeignete Objekte für BigData-Methoden zur vorausschauenden Wartung und Reakisierung eines Versuchsaufbau zum automatischen Antriggern vorausschauender Wartungsmaßnahmen
- Erste erfolgreiche Datenerfassung im Bereich Badanalytik, Ressourcen-Bilanz an der IPA1-Anlage

- Entwicklung einer prototypischen datenbasierten Zeitverzugskorrektur-Algorithmik (Proben-nahme-Analyseergebnis) für die Badpflege
- Erster Praxistest eines Versuchsaufbaus für einen Smart Service im Bereich der Badpflege.

5. Ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Die Zusammenarbeit im Projektkonsortium war sehr produktiv. Weitere Forschungseinrichtungen wurden nicht einbezogen.

Zuwendungsempfänger: DiTEC Dr. Siegfried Kahlich & Dierk Langer GmbH Im Breitspiel 19 69126 Heidelberg	Förderkennzeichen: 02K18D116
Förderprogramm: Internetbasierte Dienstleistungen für komplexe Produkte, Produktionsprozesse und -anlagen (Smart-Services)	
Titel des Vorhabens: SmARtPlaS – Smart Augmented Reality Plating Services Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik	
Projektleiter/ Projektleiterin: Dr. Siegfried Kahlich	Tel.: +49 6221 31698-277 E- Mail: s.kahlich@ditec-gmbh.de
Laufzeit des Vorhabens von: 01.10.2019	bis:31.03.2023

Teil II: Eingehende Darstellung

1. Ausführliche Darstellung durchgeföhrter Arbeiten (im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)

1.1. Das erste Projektjahr

Unter erstem Projektjahr wird hier der Zeitraum vom 01.10.2019 bis 31.12.2020 verstanden, also von der zeitlichen Dauer eineinviertel Jahre.

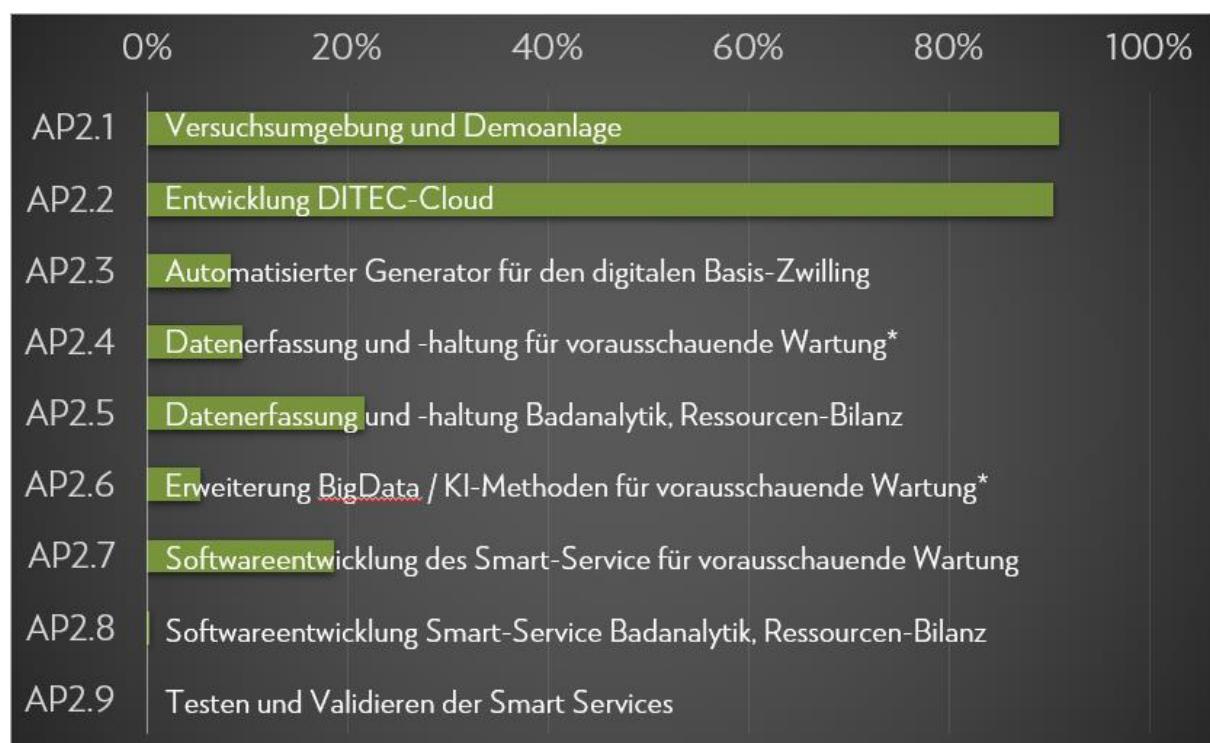
Das AP 2 „Datenerfassung & -auswertung von Massendaten aus dem Galvanikprozess und darauf gestützte Prozesssimulation für den ganzheitlich optimierten Betrieb und Wartung von Galvanikanlagen“ (Leitung DiTEC) stellt für verschiedene Partner wichtige Schnittstellen für die Zusammenarbeit im Projekt bereit. Daher folgt zunächst eine Übersicht zum Status der direkten kooperativen Tätigkeiten und anschließend zu den Kernarbeitspaketen von DiTEC.

1.1.1. Kooperative Tätigkeiten

- IPA (AP6): Vorbereitung der Versuchsanlage; diese soll kurzfristig in Betrieb genommen werden.
- Softec (AP4): Schnittstellendefinition für Datenaustausch für AR App und Wartungsunterstützung
- Airtec (AP7): Schnittstelle Sensor- und Wartungsdaten
- B+T (AP5) und IWF (AP3): Bereitstellung von Datenexporten für Simulationsrechnungen, Live-Daten via DiTEC-Cloud

1.1.2. Überblick zu AP 2.1 – 2.9

Weiterhin sind die Arbeiten an den von DiTEC zu entwickelnden Service-Modulen insgesamt gut fortgeschritten, wenn gleich hier zeitliche Verschiebungen zwischen den Arbeitspaketen aufgetreten sind. Details zu den Veränderungen folgen unten unter „Veränderungen und Zusammenfassung“ Zunächst wird der Status der einzelnen AP dargestellt.



1.1.3. AP2.1 Versuchsumgebung und Demo-Anlage

Das Arbeitspaket 2.1 ist nun fast abgeschlossen. Für die Überschreitung des ursprünglich geplanten Fertigstellungstermins gibt es zwei Gründe.

- Zum einen wurde mit der Bearbeitung der Arbeitspakete 2.4 – 2.7 bereits begonnen, d.h. der Start wurde gegenüber dem ursprünglichen Plan vorgezogen.
- Zum anderen haben wir erkannt, dass eine weitere Ergänzung von zusätzlicher Sensorik und Aktorik zum aktuellen Zeitpunkt nicht zielführend ist.

Vielmehr wird dieser Teil für das AP 2.9 (Testen und Validieren der Smart-Service Module) benötigt. In diesem Bereich sind bereits Tests an der Lern-Galvanik des Projektpartners IPA und der Anlage des Projektpartners B+T eingeplant, jedoch werden auch Tests an unserer Demo-Anlage erforderlich sein. Hierzu wird auch die Sensorik/Aktorik benötigt, die im zukünftigen Projektverlauf noch definiert werden wird.

Daher werden wir das nach Abschluss des AP2.1 übrige Arbeitszeit-Budget für das AP 2.9 benötigen und es dorthin verschieben. Der Umfang der Verschiebung beträgt gut 1 MM.

1.1.4. AP 2.2 Entwicklung DITEC-Cloud

Die Entwicklung der DiTEC-Cloud fand in enger Kooperation mit den Projektpartnern statt. Wie oben bereits erwähnt fand bereits ein erfolgreicher virtueller Test mit Datenübertragung zwischen DiTEC und B+T statt, ausstehend ist noch die Anbindung einer realen Anlage (Demoanlage) anstelle einer virtuellen Anlage.

1.1.5. AP 2.3 Automatisierter Generator für den digitalen Basis-Zwilling

Beim AP 2.3 kommt es zu einer Terminverschiebung. Die Fertigstellung ist nun für Ende 2021 geplant. Diese entstand aus der Notwendigkeit mit anderen Arbeitspaketen früher zu beginnen, insbesondere AP 2.4 - 2.7. Diese Verschiebung kommt dem Gesamtprojekt zu Gute und ist gut umsetzbar, da diese Arbeitspakete nicht vom Abschluss des AP2.3 abhängig sind und gleichzeitig die Entwicklungsqualität für die anderen Arbeitspakete durch den früheren Beginn gesteigert wird. Das bedeutet, dass das Gesamtprojekt durch diese Verschiebung besser umzusetzen ist und im geplanten Zeitraum abgeschlossen werden kann.

1.1.6. AP 2.4 Datenerfassung und -haltung für vorausschauende Wartung und intelligente Assistenzsysteme

Für die Datenerfassung und -haltung für vorausschauende Wartung und intelligente Assistenz wurde ein Konzept entwickelt und dessen Umsetzung begonnen. Ein Kernelement ist die Unterscheidung von Rolle und Objekt. Ein Objekt entspricht dabei einer physisch greifbaren Komponente, beispielsweise die Pumpe Nr. 129FGU7393, das eine Historie aufweist und auch ausfallen kann, dementsprechend gewartet werden muss. Die Rolle hingegen beschreibt eine Funktion im Anlagenkontext. Dies ist beispielsweise die Pumpe zur Nachdosierung aus Vorratank 17 in Becken 32. Diese Rolle kann durch ein Objekt eingenommen werden. Ein Objekt kann über seine Lebensdauer unterschiedliche Rollen einnehmen, so ergibt sich die Historie. Wartungsrelevante Daten fallen i.d.R. an der Rolle an, da hier bspw. die Betriebszeit oder Durchflüsse erfasst werden können und gelangen über die Zuordnung Objekt-Rolle zum Objekt. Die vollständigen Objektdaten bilden dann die Basis für datengetriebene vorausschauende Wartung.

1.1.7. AP 2.5 Datenerfassung und -haltung für Badanalytik / Ressourcen-Bilanz

Es wurde ein Konzeptentwurf für die Datenspeicherung und Datenstruktur entwickelt.

1.1.8. AP 2.6 Erweiterung BigData / KI-Methoden für vorausschauende Wartung

Die Orientierung und Sichtung von Methoden und Werkzeugen hat begonnen.

1.1.9. AP 2.7 Softwareentwicklung des Smart-Service für vorausschauende Wartung / intelligente Assistenzsysteme

Die Entwicklung eines Web-Interfaces als Basis für die intelligenten Assistenzsysteme wurde begonnen.

1.1.10. AP 2.8 Softwareentwicklung Smart-Service Badanalytik, Ressourcen-Bilanz

Für dieses Modul wurde ein erster Entwurf für ein Berechnungskonzept schon vor dem geplanten Beginn entwickelt.

1.1.11. AP 2.9 Testen und Validieren der Smart-Service Module

Mit dem AP 2.9 wurde noch nicht begonnen. Zu diesem AP wird die Integration zusätzlicher Sensork/Aktorik sowie der Test der Module vor dem Test in den Anlagen von IPA und B+T (ursprünglich Ap2.1) verschoben.

1.1.12. Veränderungen und Zusammenfassung

Aus der obigen Darlegung folgt, dass das Gesamtprojekt sehr gut umgesetzt wird und alle Ziele weiterhin plangemäß erreicht werden können. Die AP 2.1 und 2.2 stehen kurz vor dem Abschluss. Ein kleinerer Arbeitsumfang von gut 1 MM wird sinnvollerweise gemäß den Vorgaben zur sinnvollen Fördermittelnutzung in das AP 2.9 verschoben. Der geplante Bearbeitungszeitraum wurde auf Ende 2021 verlängert.

Diese Veränderungen fördern die ziel- und termingerechte Gesamtumsetzung.

1.2. Das zweite Projektjahr

Unter erstem Projektjahr wird hier der Zeitraum vom 01.10.2021 bis 31.12.2021 verstanden.

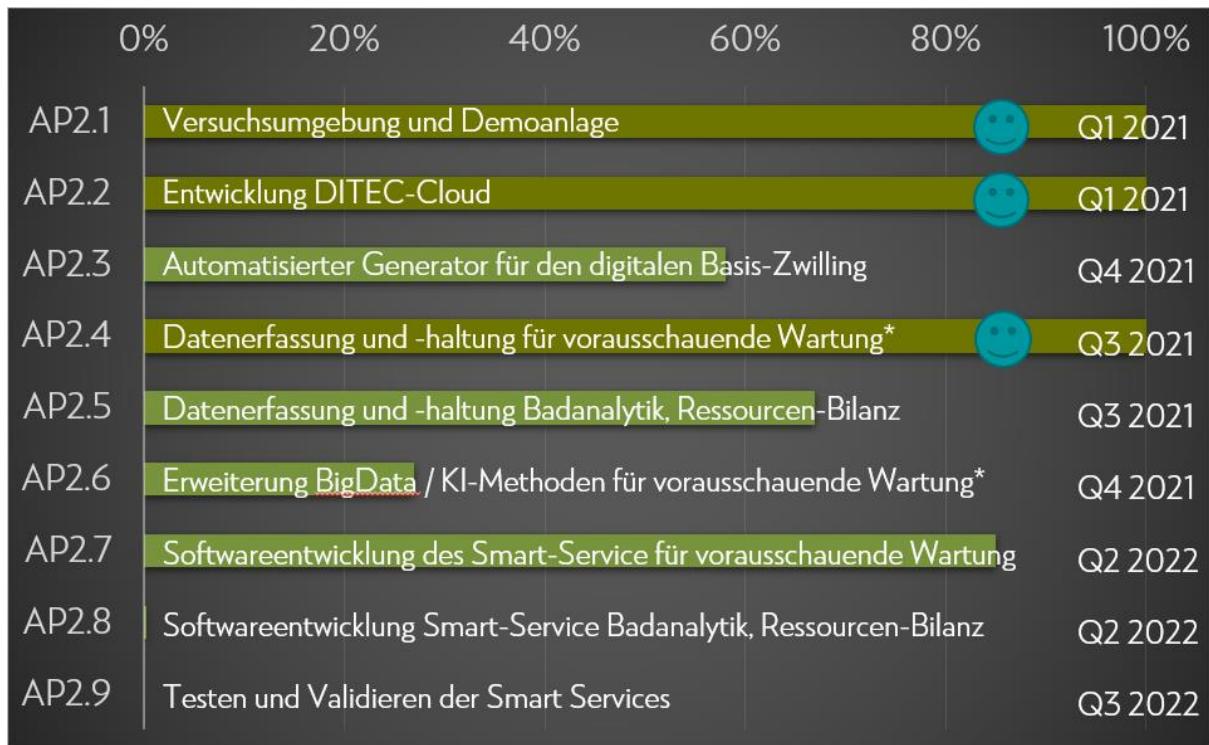
Das AP 2 „Datenerfassung & -auswertung von Massendaten aus dem Galvanikprozess und darauf gestützte Prozesssimulation für den ganzheitlich optimierten Betrieb und Wartung von Galvanikanlagen“ (Leitung DiTEC) stellt für verschiedene Partner wichtige Schnittstellen für die Zusammenarbeit im Projekt bereit. Daher folgt zunächst eine Übersicht zum Status der direkten kooperativen Tätigkeiten und anschließend zu den Kernarbeitspaketen von DiTEC.

1.2.1. Kooperative Tätigkeiten 2021

- IPA (AP6):
 - Die Versuchsanlage; wurde 2021 vollständig in Betrieb genommen (Anlagenkürzel IPA1).
 - Es wurden Schulungen zur optimalen Konfiguration und Nutzung der Software an IPA1 durchgeführt.
 - Es wurden Software-Neuentwicklung aus diversen Arbeitspaketen installiert und getestet
 - Möglichkeiten zur Aufnahme und dem exportieren neuer und relevanter Daten für das AP6 wurden geschaffen.
- IWF (AP3):
 - Austausch zur Elektrolytsimulation
- Softec (AP4):
 - Die DiTEC-Cloud wurde an die AR-App angebunden.
 - Die Visualisierung statischer und dynamischer Daten und aktueller Live-Daten wurde ermöglicht.
 - Test der Live-Daten-Anbindung in Simulation an unserer DiTEC-Testanlage und der größeren IPA1-Anlage.
 - Schnittstellendefinition für Datenaustausch für AR App und Wartungsunterstützung wurden erweitert.
- B+T (AP5):
 - Es wurde die Basis-Software für vorausschauende Wartung installiert, geschult und getestet.
 - Die ersten Web-Anwendungen für die Realisierung vorausschauender Wartungsaufgaben wurden implementiert, um das Feedback aus der Praxis möglichst früh in die Entwicklung einfließen lassen zu können.

1.2.2. Überblick zu AP 2.1 – 2.9

Die Arbeiten an den von DiTEC zu entwickelnden Service-Modulen insgesamt sehr gut fortgeschritten und es sind nur kleinere zeitliche Verschiebungen zwischen den Arbeitspaketen aufgetreten. Details zu den Veränderungen folgen unten unter „Veränderungen und Zusammenfassung“ Zunächst wird der Status der einzelnen AP dargestellt.



1.2.3. AP2.1 Versuchsumgebung und Demo-Anlage

Das Arbeitspaket 2.1 wurde im ersten Quartal 2021 wie im letzten Zwischenbericht geplant abgeschlossen. Dies war ein wichtiger Meilenstein, da die sich in der Entwicklung befindlichen nun direkt praxisnah getestet und weiterentwickelt werden können. Im Gesamtprojekt nutzt die Versuchsumgebung mit Demoanlage nach dem rein virtuellen Testen die kleinste und kostengünstigste Skalierungsstufe und ermöglicht eine beschleunigte Entwicklung bei guter Übertragbarkeit der Lösungen in die größeren Anlagen bei den Projektpartnern.

Im Laufe des Jahres 2021 wurde diese Testumgebung noch weiter optimiert und an die sich neu ergebenden Erfordernisse angepasst. Die im letzten Zwischenbericht angedachte Verschiebung eines Teils des Arbeitszeit-Budgets vom AP2.1 in das AP2.9 wurde dadurch obsolet, sodass wir hier sehr nah an der ursprünglichen Planung liegen.

1.2.4. AP 2.2 Entwicklung DiTEC-Cloud

Auch das AP 2.2, die Entwicklung der DiTEC-Cloud, wurde im ersten Quartal 2021 erfolgreich abgeschlossen. Wie bereits im letzten Zwischenbericht erwähnt, fand die Entwicklung der DiTEC-Cloud in enger Kooperation mit den Projektpartnern statt. Der Prototyp wurde nach dem virtuellen Test mit Datenübertragungen zwischen DiTEC und B+T, an die reale Demoanlage angebunden. Die Ditec-Cloud stellt eine wichtige Basis für die intensive Entwicklung der AR-App zusammen mit dem Partner Softec dar, und ermöglichte hier eine beschleunigte Entwicklung guter technischer Lösungen insbesondere zur Sammlung und Bereitstellung großer Datenmengen.

1.2.5. AP 2.3 Automatisierter Generator für den digitalen Basis-Zwilling

Das AP 2.3 ist weiterhin verzögert. Die Ursache liegt in einer Verschiebung der Reihenfolge zwischen den Arbeitspaketen, um das Gesamtprojekt besser darstellen zu können. So konnte das AP2.4 früh abgeschlossen werden und AP2.7 ist gegenüber dem ursprünglichen Plan schon weiter fortgeschritten. Diese Verschiebung kommt dem Gesamtprojekt zu Gute und ist gut umsetzbar, da diese Arbeitspakete nicht vom Abschluss des AP2.3 abhängig sind und gleichzeitig die Entwicklungsqualität für die anderen Arbeitspakete durch den früheren Beginn gesteigert wird zum Beispiel durch Feedback zu Teilentwicklungen von den Projektpartnern. Das bedeutet, dass das Gesamtprojekt durch diese Verschiebung besser umzusetzen ist und im geplanten Zeitraum abgeschlossen werden kann.

1.2.6. AP 2.4 Datenerfassung und -haltung für vorausschauende Wartung und intelligente Assistenzsysteme

Das AP2.4 konnte durch die Verschiebung des AP2.3 bereits im 3. Quartal 2021 sehr erfolgreich abgeschlossen werden. Teile des Ergebnisses dieses Arbeitspakets wurden bereits bei den Projektpartnern B+T und IPA installiert und die Erkenntnisse fließen in die auf dieses AP aufbauende Softwareentwicklung (AP2.7) ein, sodass dieses schon sehr weit fortgeschritten ist.

Ein Kernelement dieses APs war die Unterscheidung von Rolle und Objekt. Ein Objekt entspricht dabei einer physisch greifbaren Komponente, beispielsweise die Pumpe Nr. 129FGU7393, das eine Historie aufweist und auch ausfallen kann, dementsprechend gewartet werden muss. Die Rolle hingegen beschreibt eine Funktion im Anlagenkontext. Dies ist beispielsweise die Pumpe zur Nachdosierung aus Vorratstank 17 in Becken 32. Diese Rolle kann durch ein Objekt eingenommen werden. Ein Objekt kann über seine Lebensdauer unterschiedliche Rollen einnehmen, so ergibt sich die Historie. Wartungsrelevante Daten fallen i.d.R. an der Rolle an, da hier bspw. die Betriebszeit oder Durchflüsse erfasst werden können und gelangen über die Zuordnung Objekt-Rolle zum Objekt. Die vollständigen Objektdaten bilden dann die Basis für datengetriebene vorausschauende Wartung.

1.2.7. AP 2.5 Datenerfassung und -haltung für Badanalytik / Ressourcen-Bilanz

Das Konzept für die Datenspeicherung und Datenstruktur wurde detailliert ausgearbeitet und befindet sich in einer weit fortgeschrittenen Umsetzung. Ein erste Test-Installation der Datenerfassung wurde an der IPA1-Anlage bei unserem Projektpartner vorgenommen und wird in Betrieb genommen. Es wurden funktionale Lösungen gefunden, um die sehr komplexen Strukturen und Zusammenhänge effizient abzubilden. Der baldige Abschluss dieses Arbeitspaktes steht bevor, sodass eine gute Basis für das AP2.8 gelegt ist.

1.2.8. AP 2.6 Erweiterung BigData / KI-Methoden für vorausschauende Wartung

Das Arbeitspaket 2.6 ist noch verzögert. Insbesondere durch pandemiebedingte existenzielle Aufgabenstellungen waren koordinative Ressourcen zu stark gebunden. Diese Lage hat sich jedoch im Sommer 2021 wieder entspannt. Gleichzeitig haben wir an einzelnen Stellen Lücken in unserer KI-Expertise entdeckt. Um den Rückstand wieder aufzuholen haben wir das AP unter anderem durch interne Workshops priorisiert und einen externen Partner (ingenio ai) mit eingebunden, der Übersichts- und Anwendungsschulungen durchgeführt hat, sodass wir nun eine breite Basis für die weitere Entwicklung des AP2.6 haben. Der Partner bringt insbesondere auch Expertise ein bezügliche der Konzeptionierung von Lösungen und der Abschätzung von Erfolgssäusichten verschiedener Lösungsansätze. Da komplexe KI-Projekte hohe Misserfolgsrisiken mit sich bringen, erachten wir dies als sehr zielführend.

Die aktuelle Verzögerung ist für das Gesamtprojekt unkritisch, da die anderen APs unabhängig bearbeitet werden können und auch eine späte Einkopplung von Lösungsalgorithmen strukturell vorgesehen ist.

1.2.9. AP 2.7 Softwareentwicklung des Smart-Service für vorausschauende Wartung / intelligente Assistenzsysteme

Die Kopplung der Datenstrukturen mit bereits entwickelten und sich noch in der Entwicklung befindlichen Wartungs-Tools ist weit fortgeschritten. Mit der Entwicklung der Triggerfunktion zur Auslösung von Wartungsaufgaben basierend auf datengetriebenen Prognosen oder KI-basierten Vorhersagen kann dieses Arbeitspaket wahrscheinlich sehr bald abgeschlossen werden.

1.2.10. AP 2.8 Softwareentwicklung Smart-Service Badanalytik, Ressourcen-Bilanz

1.2.11. Das AP2.8 baut auf dem AP2.5 auf. Entsprechend der Planung wird der Schwerpunkt voraussichtlich in Q1 und Anfang Q2 2022 liegen.

1.2.12. AP 2.9 Testen und Validieren der Smart-Service Module

Mit dem AP 2.9 wurde gemäß dem Plan noch nicht begonnen, da dafür die Ergebnisse der anderen Arbeitspakete erforderlich sind.

1.2.13. Veränderungen und Zusammenfassung

Die AP 2.1, AP2.2 und AP2.4 sind bereits abgeschlossen.

AP 2.3, AP2.5 und AP2.7 stehen kurz vor dem Abschluss.

Das AP2.8 liegt im Plan.

AP2.6 ist verzögert. Es wurden oben beschriebene Maßnahmen ergriffen, damit die Umsetzung noch innerhalb des Projektzeitraums entsprechend realisiert werden kann. Das Gesamtprojekt ist durch die aktuelle Verzögerung nicht beeinträchtigt.

Der Start von AP2.9 kann wie ursprünglich geplant im 3. Quartal 2022 erfolgen.

Aus der obigen Darlegung folgt, dass das Gesamtprojekt sehr gut umgesetzt wird und alle Ziele weiterhin plangemäß erreicht werden können.

1.3. Das dritte Projektjahr

Unter drittem Projektjahr wird hier der Zeitraum vom 01.01.2022 bis 31.12.2022 verstanden, also von der zeitlichen Dauer eineinviertel Jahre.

Folgender Status der Arbeitspakete ergab sich zum Abschluss des Projektjahres:

- Die AP 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 und 2.7 sind abgeschlossen.
- Das AP 2.6 (Big Data/Algorithmen) ist fast abgeschlossen.
- Das AP 2.8 (Badpflege/Analytik/Ressourcen) ist weit fortgeschritten und wird in intensiver Kooperation mit dem IPA sicher in Q1 2023 abgeschlossen.
- Das AP2.9 (Testen und Validieren) befindet sich in der Umsetzung und wird ebenfalls in Q1 2023 abgeschlossen.

Vergleich zum Planungsstand Ende 2022:

- Die Projektziele (Arbeitsinhalte) wurden bzw. werden sicher erreicht.
- Der im Zusammenhang mit der genehmigten Projektverlängerung geplante Zeitrahmen wird problemlos eingehalten.
- Auch die Kostenseite liegt sehr nah am Plan.

In diesem Projektjahr wurden insbesondere diese Ergebnisse erzielt:

- Ein automatisierter Generator für den digitalen Basis-Zwilling wurde fertiggestellt.
- Anbindung des AR-App Prototyps in Anlagensoftware und Demonstration auf der Surface Technology 2022
- Identifikation von Transportwagen als besonders geeignete Objekte für BigData-Methoden zur vorausschauenden Wartung
- Erste erfolgreiche Datenerfassung im Bereich Badanalytik, Ressourcen-Bilanz an der IPA1-Anlage
- Entwicklung einer prototypischen Zeitverzugskorrektur (Probennahme-Analyseergebnis) für die Badpflege
- Erster Praxistest eines Protoyps für einen Smart Service im Bereich der Badpflege.

1.4. Der Projektabschluss

Unter Projektabschluss wird hier der Zeitraum vom 01.01.2023 bis 31.03.2023 verstanden, also von der zeitlichen Dauer eineinviertel Jahre.

Im Rahmen des Projektabschlusses wurden alle noch offenen Arbeitspakete abschließend bearbeitet. Die insgesamt erzielten Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

2. Erzielte Ergebnisse

Es werden die erzielten Ergebnisse entsprechend der Projektstruktur (Arbeitspakete) dargestellt

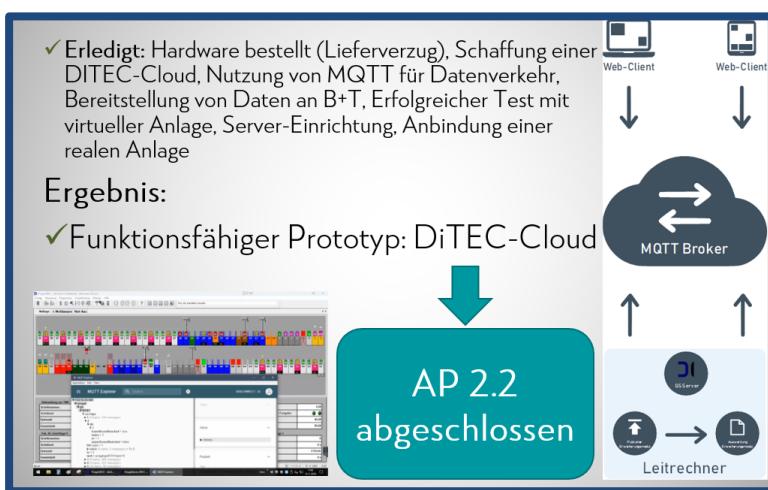
2.1. AP 2.1 Versuchsumgebung und Demo-Anlage

In diesem Arbeitspaket wurde zunächst die Anlage entsprechend konzeptioniert und umgebaut. Dabei wurde zusätzliche Sensorik / Aktorik ergänzt, um ein genaues Abbild des digitalen Zwillinges der realen Anlage zu modulieren. Die daraus resultierende Programmierung der SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) für die Demoanlage wurde mit Siemens TIA Portal durchgeführt. Die anschließende Prüfung der Funktionalität der Versuchsanlage ergab das geplante Ergebnis: eine funktionsfähige Versuchsanlage.



2.2. AP 2.2 Entwicklung DITEC-Cloud

Zunächst erfolgte die Erarbeitung des DITEC-Cloud-Konzeptes unter Berücksichtigung der speziellen Sicherheitsanforderungen insbesondere im Vergleich zu externen Cloud-Anbietern im Hinblick auf Konzeption des Server- und Sicherheitssystems. Nach Beschaffung der erforderlichen Komponenten wurde ein funktionsfähiger, sicherer Cloud-Prototyp erstellt und im Versuchsbetrieb getestet und modifiziert, sodass virtuelle und reale Anlagen verbunden werden konnten. Damit wurde das geplante Ergebnis erreicht: ein Prototyp der DiTEC-Cloud.



2.3. AP 2.3 Automatisierter Generator für den digitalen "Basis-Zwilling"

Um entsprechende Smart Services entwickeln zu können ist ein digitaler Zwilling eine wichtige Basis. Nach der informationstechnischen Definition der Dienstleistungsprozesse und Konzeption der Datenbasis und Schnittstellen zwischen Anlagen und digitalen Zwillingen wurde ein Softwareprogramm geschrieben, mit dem „Digitale Zwillinge“ von Galvanikanlagen als Basis für die Prozesssimulation generiert werden können. Dabei können verschiedene Galvanikanlagenkonzepte verwendet werden, da

auch direkt mit Konstruktionsdaten des Anlagenbauers gearbeitet wird. Das geplante Ergebnis, ein automatisierter Generator für den digitalen Basis-Zwilling, konnte so erreicht werden.

AP 2.3 Generator Digitaler Zwilling

Erledigt:

- ✓ Erledigt: Eingangsformat definiert: Excel-Basisformat, Prototyp des Generators für Basis-Zwilling programmiert, Erfolgreicher Test des 1. Prototyps
- ✓ Erledigt: Kleinere Verbesserungen
- ✓ Erledigt: Manuelle Nachkonfiguration am generierten Zwilling ist möglich
- ✓ Erledigt: Abbildung komplexerer Anlagenstrukturen über Generator
- ✓ Generieren automatischer Simulationsanalysen inkl. automatische Simulationsauswertung, Teilkonzeptionierung → zu komplex für Projektrahmen
- ✓ Erledigt: Adaptions-Assistent für (TW, Umsetzer, Sperrungen, Bäder)
- ✓ Generator interne Logistikprozesse, Optimierung realisiert, keine Vollautomatik
- ✓ Erledigt: Generator Logistikprozesse aus Ablaufbeschreibungen
- ✓ Erledigt: Interne Abläufe optimiert -> Sofortige Nutzbarkeit von digitalen Zwillingen

AP 2.3 abgeschlossen

2.4. AP 2.4 Datenerfassung und -haltung für vorausschauende Wartung und intelligente Assistenzsysteme

Die Voraussetzung für Services im Bereich vorausschauender Wartung sind entsprechend verarbeitbare und auswertbare Daten. Daher wurden erforderliche informationstechnische Definitionen und Konzepte erstellt, auf deren Basis Dienstleistungsmodule, wie z.B. Assistenzsysteme, aufbauen können. Die erarbeiteten spezifischen Datenmodelle der Smart-Services, Definitionen der zu erkennenden Fehlerereignisse sowie das Informationsmanagement in Abhängigkeit der Informationsquellen und -inhalte wurden dazu genutzt eine Versuchssoftware zu entwickeln, die der datenmäßigen Abbildung der Fehlerereignisse gerecht wird. Neben der Datenhaltung wurden Konzepte für die Assistenzsysteme sowie Softwareschnittstellen entwickelt und als Versuchsaufbau umgesetzt. Die Schnittstellen ermöglichen dabei sowohl die Anbindung digitaler Zwillinge wie auch Anlagenservern und Dritt-Systemen (z.B. QS-Server, Information-Server, Umweltdatenbanken, ERP-Systeme). Als Ergebnis wurde erreicht: ein funktionsfähiger Prototyp für Datenerfassung und Datenspeicherung, der vorausschauende Wartung über entsprechende Assistenzsysteme ermöglicht.

Datenerfassung und -haltung für vorausschauende Wartung und intelligente Assistenzsysteme

Erledigt:

- ✓ Trennung von Rolle und Objekt
 - ✓ Alt: Dosierpumpe Xy mit ID
 - ✓ Neu: Rolle = Funktion, die ein Objekt ausfüllen kann, z.B. Dosierpumpenfunktion von Behälter A nach B
 - ✓ Neu: Objekt = Eine konkrete Pumpe, z.B. Dosierpumpe Seriennummer 4711
- ✓ Zuordnungsmöglichkeiten schaffen
- ✓ Objektlebenslauf: Welche Rolle von wann bis wann wie erfüllt

AP 2.4 abgeschlossen

2.5. AP 2.5 Datenerfassung und -haltung für Badanalytik / Ressourcen-Bilanz

Die Voraussetzung für eine effiziente und effektive Badpflege sowie Ressourcenbilanzierung sind entsprechend verarbeitbare und auswertbare Daten. Daher wurden erforderliche informationstechnische

Definitionen und Konzepte erstellt, auf deren Basis Dienstleistungsmodule zur Badanalytik und Ressourcenbilanzierung aufbauen können. Die erarbeiteten spezifischen Datenmodelle der Smart-Services sowie das Informationsmanagement wurde nach der Konzeption als Versuchssoftware realisiert. Es wurden Schnittstellenkonzepte entwickelt, die sowohl die Anbindung digitaler Zwillinge wie auch Anlagenservern und Dritt-Systemen (z.B. QS-Server, Information-Server, Umweltdatenbanken, ERP-Systeme) ermöglichen. Das Ergebnis ist ein funktionsfähiger Prototyp zur Datenerfassung und Datenspeicherung für Smart Services im Bereich Badanalytik sowie Ressourcen-Bilanz.

2.6. AP 2.6 Erweiterung BigData / KI-Methoden für vorausschauende Wartung

Auf der Datenbasis aus AP2.4 wurde Daten-Analyse-Algorithmen und Methoden angewendet sowie Konzepte zur Verwendung von KI-Methoden für die vorausschauende Wartung untersucht. Als Ergebnis wurde ein Konzept zur Verarbeitung von Massendaten erreicht, dass für Anlagenkomponenten eine vorausschauende Wartung ermöglicht, und so die grundsätzliche Möglichkeit eröffnet, ungeplante Stillstandszeiten in Galvanikanlagen zu reduzieren.

2.7. AP 2.7 Softwareentwicklung des Smart-Service für vorausschauende Wartung / intelligente Assistenzsysteme

Basierend auf dem Datensystem aus AP2.4 wurden mehrere Konzepte für Assistenzsysteme und vorausschauende Wartungs-Services entwickelt. Insbesondere wurde ein Service für vorausschauende Wartung von Transportwagen von Galvanikanlagen auch im Versuchsaufbau realisiert und mittels Schnittstelle in eine AR-App als smartes Assistenzsystem realisiert. Ergebnis: funktionsfähige Prototypen der Softwaremodule für vorausschauende Wartung und intelligente Assistenzsysteme.

AP 2.7 vorausschauende Wartung + intelligente Assistenzsysteme

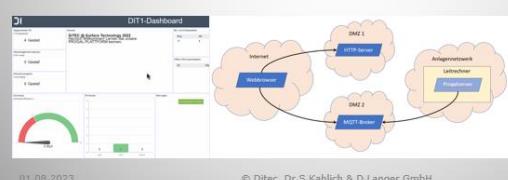
- ✓ Datenbasiertes Wartungsmanagement als Web-Service
- ✓ AR-Assistenz bei Wartung
- ✓ Internetbasierter Service zur Wartung



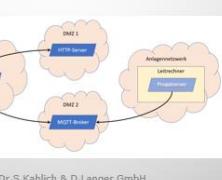


→

Abschluss AP 2.7



01.08.2023 © Ditec Dr.S.Kahlich & D.Langer GmbH



2.8. AP 2.8 Softwareentwicklung Smart-Service „Badanalytik, Ressourcen-Bilanz“

Basierend auf dem Datensystem aus AP2.5 wurde eine Versuchssoftware zum Elektrolytmanagement konzipiert und programmiert. Diese wurde in mehreren Zyklen auf der Demoanlage sowie IPA1 Lerngalvanik getestet und modifiziert. Die Ergebnisse sind vielversprechend für ein sehr exaktes zukünftiges Elektrolytmanagement. Jedoch Bedarf es hier noch weiterer Forschung. Das Ergebnis ist ein funktionsfähiger Prototyp des Softwaremoduls für Badanalytik / Ressourcen-Bilanz.

2.9. AP 2.9 Testen und Validieren der Smart-Service Module

Die oben beschriebenen Ergebnisse wurden in diesem Arbeitspaket erfolgreich getestet.

3. Verwendung der Zuwendung

Die Kosten im Finanzierungsplan waren gut geplant und konnten weitestgehend entsprechend gemanaged werden. Während der Projektlaufzeit wurden teilweise die Budgets in Absprache des Projektträgers angepasst.

Die Pos. 0813/Material: Abweichung zum Finanzierungsplan <+3%.

Die Pos. 0823/FE-Fremdleistungen: Abweichung zum Finanzierungsplan <+10%.

Die Pos. 0837/Personalkosten: Abweichung zum Finanzierungsplan <-5%.

Die Pos. 0847/vorhabensspezifischen Abschreibungen: Abweichung zum Finanzierungsplan <+5%.

Die Pos. 0850/sonstige unmittelbare Vorhabenkosten: Abweichung zum Finanzierungsplan <1%.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die geleisteten Projektarbeiten waren notwendig und angemessen, um das Projektziel zu erreichen. Die erwarteten Risiken und Schwierigkeiten, die bereits im Antrag aufgeführt worden sind, haben sich bewahrheitet bzw. waren leider etwas größer als bereits im Antrag vorgesehen. Eine weitere Erschwernis war die Corona-Pandemie, die zu Verzögerungen und Ressourcenverschiebungen geführt hat. Insbesondere der Aufwand für die Weiterentwicklung der Projektergebnisse zu marktfähigen Produkten wird etwas länger dauern als ursprünglich geplant. Daher wurde auch der Verwertungsplan entsprechend aktualisiert.

5. Voraussichtliche Nutzen der Ergebnisse i.S. des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Vermarktung der im Projekt entwickelten Systeme kann voraussichtlich 2024 begonnen werden, zunächst bei jeweils mindestens 2 Referenzkunden. Bis 2025 ist geplant 5% unserer Kunden bzw. Neukunden damit auszurüsten, bis 2026/27 weitere 5%. Mittelfristig soll nach Möglichkeit mit den anderen Partnern eine gemeinsame Dienstleistungsplattform aufgebaut werden, auf der über die Vernetzung der einzelnen Servicekonzepte des Verbundprojekts eine umfassende Dienstleistung angeboten werden kann. Dies ist insbesondere für den Bereich der klassischen Industriegalvanik interessant, da hier wie im Rahmenplan erläutert die Grundlage für eine grundlegende Innovation des Geschäftsmodells der klassischen Galvanotechnik schaffen kann.

6. Bekannt gewordener Fortschritt auf Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen (während Projektlaufzeit)

Es ist uns kein Fortschritt bei anderen Stellen auf dem Gebiet des Vorhabens bekannt geworden.

7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 NKBF

Die Zwischenergebnisse wurden bereits auf der Messe Surface Technology 2022 vorgestellt.
Es ist geplant, Vorträge auf Tagungen und Messen zu halten.

AP 3: Sachbericht von TU Braunschweig – Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

Dr.-Ing. Mark Mennenga, Sophia Kohn, Dr.-Ing. Alexander Leiden und Marija Rosic

Teil I: Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Entwicklung von prototypischen Ansätzen für die vorausschauende Wartung innerhalb eines cyberphysischen Systems mit Unterstützung von Augmented Reality (AR). Die entwickelten Methoden bieten eine Grundlage für die Implementierung von Smart Services in der Galvanotechnik. Es werden modell- und datenbasierte Ansätze verwendet, die vorausschauende Wartung der Elektrolyten, der Beschichtungsanlage sowie der peripheren Anlagentechnik ermöglichen. Weiterhin sind prototypische AR-Applikationen zur Unterstützung von Smart Services zu entwickeln.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

In der galvanotechnischen Branche bestehen viele Potenziale zur Implementierung von Industrie 4.0 Lösungen, die zum Zeitpunkt des Projektstartes nur selten im industriellen Umfeld erprobt wurden. Erste prototypischen Untersuchungen wurden im AiF ZIM Vorprojekt GroßAuto durchgeführt, indem kontinuierliche Kommunikation zwischen der Anlagensteuerung und einer simulationsgestützten Prozessoptimierung umgesetzt wurde.

Als Teil von Smart Services wurden Ansätze zur vorausschauenden Wartung identifiziert, die auf modell- und datenbasierten Methoden basieren. Modellbasierten Ansätze bieten den Vorteil, dass Prozess- und Prozessketten in einer Simulationssoftware nachgebildet werden, wodurch verschiedene Szenarien virtuell untersucht werden können. Auf der anderen Seite eignen sich Data Mining Ansätze, um aus historischen Daten neues Wissen zu erzeugen, Muster oder Anomalien zu entdecken, und Vorhersagen für bestimmte Prozesswerte zu treffen.

Für Visualisierungen von virtuellen Inhalten wurden innovative Mixed Reality Hardware and Software Lösungen auf den Markt gebracht, die es erlaubten, sowohl für Headsets als auch für Smartphones, Augmented Reality Applikationen zu entwickeln. Mithilfe von Augmented Reality lassen sich virtuelle Informationen dreidimensional im realen Raum abbilden.

3. Plan und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)

Für die methodische Entwicklung von datenbasierten Ansätzen für vorausschauende Wartung wurden die XDK Sensoren von Bosch während der Pandemie bei Fraunhofer IST auf einer Reinigungsanlage in Braunschweig aufgebaut, da es aufgrund von Reisebeschränkungen nicht möglich war, beim Projektpartner Airtec MUEKU vor Ort die Ansätze zu entwickeln. Nach den Pandemielockerungen wurden die Sensoren nachträglich seitens Airtec MUEKU installiert. Währenddessen haben sich die Sensoren als ungeeignet für die galvanische Umgebungsbedingungen gezeigt, da es wiederholend zu Datenausfällen kam. Schließlich wurden die Sensoren durch einen SmartPredict Sensor ausgetauscht, der vergleichbare Schwingungsmessungen durchführen kann, womit im letzten Halbjahr des Projektes eine Datenbasis geschaffen wurde. Demzufolge wurde das Projekt in Abstimmung mit Projektpartnern um ein halbes Jahr verlängert.

4. Wesentliche Ergebnisse im Überblick

Für die vorausschauende Wartung vom Elektrolyten mit modellbasierten Methoden wurde eine Anylogic Simulation entwickelt, welche die Prozesskette von der Lerngalvanik bei Fraunhofer IPA nachbildet. In der Simulation können unterschiedliche Beschichtungsprogramme sowie Konzentrationen der Fluidzusammensetzung eingegeben werden, um den Verschleppungsgrad in verschiedenen Bädern zu berechnen. Im Vergleich dazu hat sich der datenbasierte Ansatz auch bei kleinen Datensätzen für die Vorhersage von der Beschichtungsqualität bei unterschiedlichen Parametereinstellungen als geeignet

erwiesen. Anders sah es bei der Vorhersage der Verschleppung aus. Die Anforderungen an einen ausreichend großen und vollständigen Datensatz setzen voraus, dass Badproben bei jedem Versuch entnommen und im Labor analysiert werden. Dies ist sehr zeitaufwendig und erfordert sehr hohe Personalkapazitäten.

Um die peripheren Anlagengeräte vorausschauend zu warten, wurden Schwingungssensoren an verschiedenen Geräten angebracht. Somit wurden Größen wie Temperatur, Schallemissionen, Gyroskop und Beschleunigung aufgenommen, die für den datenbasierten Ansatz eine Datenbasis schaffen. Die erzeugten Daten wurden mit Data Mining Methoden analysiert und modelliert. Die aufgenommenen Daten aus den ersten zwei Monaten wurden für das Training mit künstlichen neuronalen Netzwerken zur Anomalieerkennung verwendet. Das Modell wurde schließlich auf weitere 7 Monate angewendet, und prototypisch in einer Echtzeitanwendung demonstriert. Die Ergebnisse wurden in einem lokalen browserbasierten Dashboard erfolgreich visualisiert.

Der Einsatz von Augmented Reality (AR) Applikationen wurde sowohl für modell- als auch für datenbasierte Ansätze untersucht. Für modellbasierte Ansätze zeigte sich die Anwendung von AR als ungeeignet, da keine Schnittstellen zwischen der Simulationssoftware und den AR-Applikationen existieren. Datenbasierte Ansätze sind in der Lage auch Daten in Echtzeit zu liefern, weshalb sie unter der Voraussetzung, dass die Daten im Netzwerk abrufbar sind, für eine AR-Applikation besser geeignet sind. Prototypisch wurde eine AR Applikation entwickelt, die Sensordaten in Echtzeit aus einer Datenbank abruft und in einem dynamischen Graph visualisiert. Da AR selbst sehr rechenintensiv ist, unterstützt sie es zu diesem Zeitpunkt noch nicht, Data Mining Modelle ebenfalls direkt zu integrieren. Dementsprechend wird AR als reines Visualisierungstool empfohlen, welches die Daten aus einem KI-basierten Cloudserver abruft und nur zur Visualisierungszwecken dient. Schließlich wurden für eine Echtzeitanwendung die Modellergebnisse lokal in einem Dashboard abgebildet.

5. Ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Übergangsweise wurde für die Entwicklung der datenbasierten Modelle für die Anlagenperipherie die Infrastruktur am Fraunhofer IST in Braunschweig genutzt.

Zuwendungsempfänger: TU Braunschweig – Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik	Förderkennzeichen: 02K18D115
Förderprogramm: Internetbasierte Dienstleistungen	
Titel des Vorhabens: Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik Teilvorhaben „Methodenentwicklung für vorausschauende Wartung und Augmented Reality in der Galvanotechnik“ im Verbundprojekt „Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik (SmARtPlaS)“	
Projektleiter/ Projektleiterin: Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann	Tel.: +49 531 391-7149 E- Mail: c.hermann@tu-braunschweig.de
Laufzeit des Vorhabens von: 01.10.2019	bis: 31.03.2023

Teil II: Eingehende Darstellung

1. Ausführliche Darstellung durchgeföhrter Arbeiten (im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)

Ziel des Projekts SmARt Plas war die Entwicklung von digitalen Zwillingen von galvanotechnischen Prozessketten und dessen Überführung in eine datengestützte intelligente Dienstleistung (Smart Service). Hierzu wurden die Arbeiten im Teilprojekt „Methodenentwicklung für vorausschauende Wartung und Augmented Reality in der Galvanotechnik“ der Technischen Universität Braunschweig in insgesamt 5 Arbeitspakete untergliedert. Zunächst wurden die Entwicklungsanforderungen erfasst und ein Rahmenwerk erstellt, wonach daten- und simulationsbasierten Ansätze zur vorausschauenden Wartung innerhalb von Prozessketten prototypisch entwickelt wurden. Nachfolgend sind die wichtigsten Arbeiten innerhalb der einzelnen Arbeitspakete detailliert aufgeführt.

1.1. Arbeiten im Arbeitspaket 3.1 Konzeption eines Rahmenwerkes für den Einsatz von AR gestützten Ansätzen zur vorausschauenden Wartung als Teil von Smart Services in der Galvanotechnik

Ziel der Arbeiten war die Entwicklung einer Anforderungsanalyse sowie eines Rahmenwerkes, um mit Hilfe von Augmented Reality (AR) verschiedene Ansätze zum Zweck der vorausschauenden Wartung zu erproben. Bei der Anforderungsanalyse wurden die Voraussetzungen zum Implementieren von Smart Services, zur Anbringung der Kommunikationsschnittstellen zwischen der Anlagenhardware und der Dateninfrastruktur bzw. zur Implementierung eines cyber-physicalen Systems und die Besonderheiten der Anlagentechnik in der Galvanotechnik berücksichtigt. Ausgangspunkt für die Entwicklung eines intelligenten Dienstleistungssystems (Smart Service Systems) für die Beschichtung (Plating) bildete der Bezugsrahmen für cyber-physische Produktionssysteme (CPPS). Durch eine strukturierte Aufteilung in vier zentrale Bereiche ermöglicht der Bezugsrahmen eine systematische Digitalisierung der Produktion. Im Allgemeinen bestehen die vier Bereiche aus dem physischen System, der Datenerfassung, dem Cybersystem sowie der Entscheidungsunterstützung.

Cyber-Physisches Produktionssystem

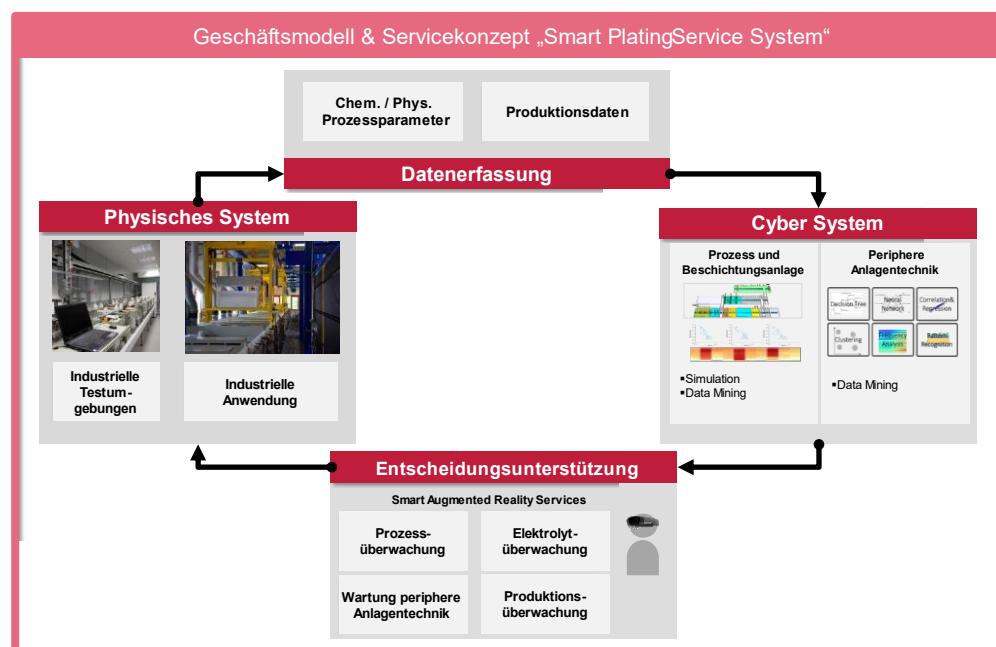


Abbildung 1: Cyber-physisches Produktionssystem (CPPS).

Als physisches System wurden im Projekt eine industrielle Beschichtungsanlage sowie eine Experimentallanlage in einer Testumgebung definiert (s. Abbildung 1). Die Datenerfassung bestand aus chemischen und physischen Prozessparametern sowie Produktionsdaten.

Im Rahmen des Cyber-Systems wurden Methoden für die Entwicklung der digitalen Zwillinge der Beschichtungsanlage und -prozesse sowie der peripheren Anlagenperipherie definiert. Als Entscheidungsunterstützung wurden die Smart Augmented Reality Services zusammengefasst, die auf der Überwachung von Prozessen, Elektrolyten, und Produktion und der Wartung der Anlagenperipherie basieren sollen.

Um das Cyber-System zu implementieren, wurden diverse Anforderungen erfasst. Erforderliche Daten für die Entwicklung des digitalen Zwillingen werden überwiegend innerhalb des Fertigungssteuerungssystems (Manufacturing Execution System, MES) erfasst, welches für die Steuerung der Anlage, den Transport des Warenträgers zwischen den Stationen und die Kommunikation der mit der Anlage verbundenen Geräte verantwortlich ist. Eine Anbindung externer Sensoren zur Datenakquise soll ebenfalls berücksichtigt werden. Außerdem war zu beachten, dass relevante Daten wie beispielsweise die Badkonzentration manuell aufgenommen und zu einem späteren Zeitpunkt analysiert werden. Die Integration der entstandenen Auswertungen aus dem Analytik-Labor erfolgte oft in unstrukturierten Datenformaten, die nicht in das MES eingetragen wurden. Für die Implementierung vom CPPS wurde als wichtig definiert, dass Daten entlang der gesamten Automatisierungspyramide aufzunehmen sind, was in der Galvanotechnik selten der Fall ist. Dementsprechend war es von hoher Relevanz, dass gemeinsame Standards für den Datenaustausch geschaffen werden. Innerhalb der Anforderungsanalyse wurde festgelegt, welche Sensorik, welche Art von Produkt- und Produktionsdaten vorhanden sind und welche Datenakquisesysteme nachträglich implementiert werden können. Daraus leitete sich die Kernanforderung ab, dass die Datenverfügbarkeit und -qualität sichergestellt werden muss, um ein CPPS aufzubauen.

Des Weiteren sollten mithilfe von dem Expertenwissen, den erfassten Sensor-, Anlagen- und Laboranalytik-Daten im Rahmen des Cybersystems digitale Zwillinge entlang der Prozesskette erstellen werden. Die Beschichtungsanlage sollte modellbasiert in einer Simulation nachgebildet werden, so dass die Prozesse und Parameter der tatsächlichen Beschichtungsumgebung entsprechen. Die Modellierung der Prozesse sollte datenbasiert mit historischen Daten entwickeln werden, um neue Erkenntnisse zu gewinnen. Somit sollte der digitale Zwilling zur Entscheidungsunterstützung in Form einer digitalen AR-unterstützten Dienstleistung dienen.

Mixed Reality Workshop

Im Rahmen des Projektes wurde ein eintägiger Workshop in Braunschweig vom IWF organisiert und geleitet, um den Teilnehmenden des Projektkonsortiums (DiTEC, Softec AG, B+T und Airtec MUEKU), die Entwicklung von AR und Mixed Reality Anwendungen näherzubringen und ihnen einen praxisorientierten Einblick in die technologischen Möglichkeiten zu geben. Der Workshop bot den insgesamt 11 Teilnehmenden die Gelegenheit, sich mit der Mixed Reality Anwendung vertraut zu machen und einen Grundstein für die praktische Projektarbeit zu legen. Durch theoretische Einführungen und praktische Übungen konnten die Teilnehmer ihr Verständnis für die Technologie vertiefen und erste Erfahrungen sammeln. Folgende Inhalte wurden thematisiert:

- Begriffe: Technologien und Beispiele aus der Mixed Reality (MR) Welt
- Erleben: Ausprobieren, Handlungsfelder und Interaktion
- Von der Software zur Hardware: Werkzeuge und Praxis
- Beginn der Entwicklung eigener MR Konzepte

Rahmenwerk für die Entwicklung von Smart Services

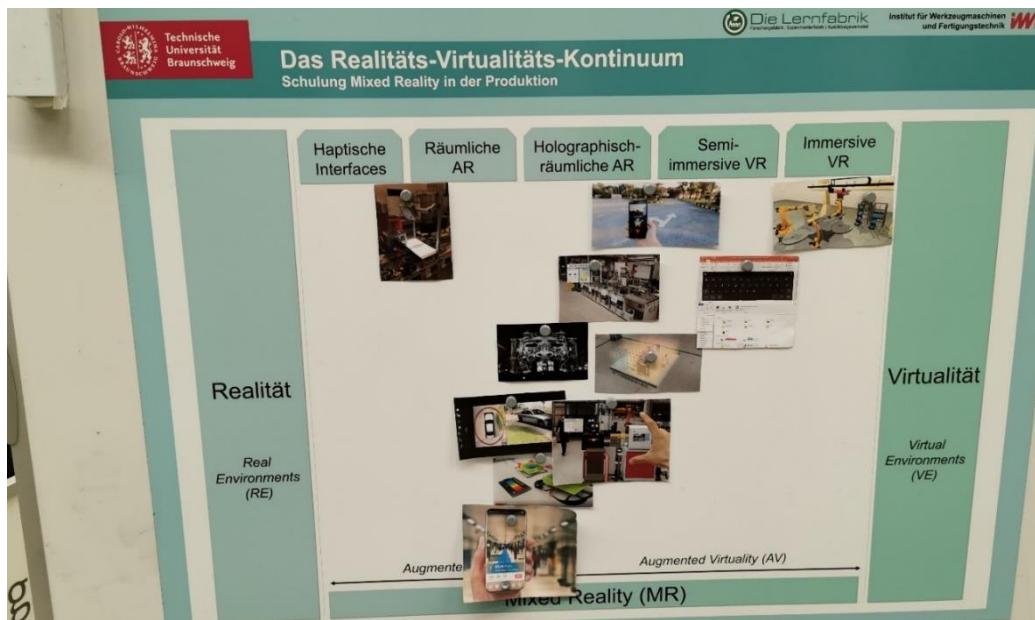


Abbildung 2: Zuordnung der Mixed Reality Technologien in das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Workshop wurde als Teil der wissenschaftlichen Arbeit zusammen mit dem IAT der Universität Stuttgart und dem Fraunhofer IPA ein Rahmenwerk für den Einsatz von AR gestützten Ansätzen zur vorausschauenden Wartung als Teil von Smart Service Systemen in der Galvanotechnik entwickelt. Das entwickelte Schalenmodell (vgl. Ergebnisdarstellung in Kapitel 2, Abbildung 19) kann zur Ermittlung des Grads der digitalen Transformation angewendet werden, indem festgestellt wird welche Schalenumsetzung innerhalb eines Unternehmens vorliegt.

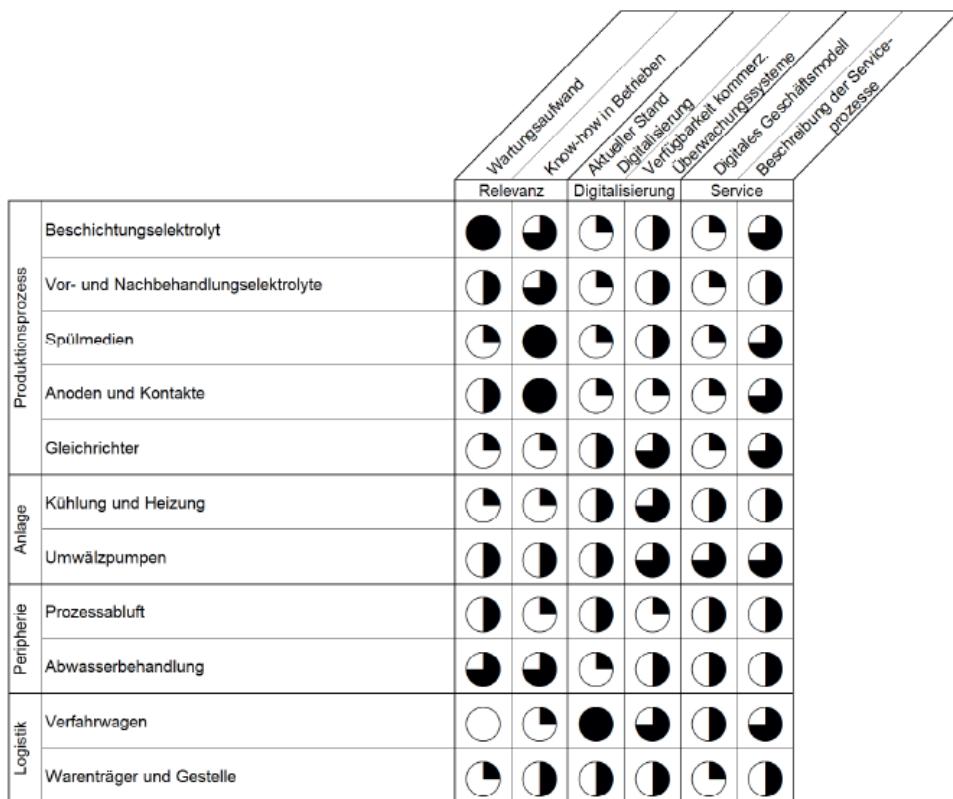


Abbildung 3: Bewertungsmatrix zur Potentialerfassung von Smart Services

Um das Potential für die Umsetzung von Smart Services von einzelnen Komponenten einer Galvano-technischen Anlage abzuschätzen, wurde in Abbildung 3 eine Bewertungsmatrix aufgestellt. Die einzelnen Elemente einer galvanotechnischen Anlage, gegliedert nach den Bereichen Produktionsprozess, Anlage, Peripherie und Logistik, wurden hinsichtlich der Relevanz, dem aktuellen Stand der Digitalisierung und aus der Serviceperspektive bewertet.

Wenn der Wartungsaufwand in Verbindung zum Know-How in Betrieben hoch ist, ist die Einführung von Smart Services sinnvoll. Die verschiedenen Elemente der galvanischen Prozesskette müssen jedoch für die Implementierung dieser Services einen gewissen Grad an Digitalisierung erfüllen oder ggf. mit vertretbarem Aufwand nachrüsten können. Schließlich wurde bewertet, in welchem Maße digitale Geschäftsmodelle sowie die Beschreibungen der Serviceprozesse bereits vorhanden sind. Mit der Potentialanalyse wurde das Arbeitspaket 3.1 erfolgreich abgeschlossen.

1.2. Arbeiten im Arbeitspaket 3.2. Prototypische Entwicklung eines simulationsbasierten und eines datenbasierten Ansatzes zur vorausschauenden Wartung für den Elektrolyten und die Beschichtungsanlage

1.2.1. Simulationsbasierter Ansatz

Im Rahmen des Arbeitspaketes 3.2 lag der Schwerpunkt auf der Entwicklung eines Ansatzes zur vorausschauenden Wartung des Elektrolyten und der Beschichtungsanlage. Zur Abbildung der Prozesse innerhalb der Anlage und für eine mögliche Anbindung an das MES sowie zum direkten Datenimport, wurde die Anlage der B+T Oberflächentechnik in der Software Emulate 3D modelliert und das Verhalten der Anlage simuliert. Das entwickelte Simulationsmodell wurde in der Simulationssoftware Emulate 3D und Anylogic weiterentwickelt und am Beispiel einer Spülkaskade angewendet. Hierbei wurden sowohl konventionell geregelte Spülkaskaden als auch prädiktiv geregelte Spülkaskaden, welche ein Stoffstrommodell als methodische Basis nutzen, untersucht. Besonders für KMUs mit einem stark wechselnden Produktspektrum zeigten sich große Wassereinsparpotentiale bei der prädiktiven Regelung.

Der Beschichtungsprozess wurde von der Lerngalvanik beim Fraunhofer IPA in Anylogic simuliert (vgl. Abbildung 4). Hierbei wurden die Startbedingungen in einer Exceldatei parametrisiert. Angaben zu dem Substrat, wie zum Beispiel zu der Oberflächenbeschaffenheit, dem Gewicht, dem Volumen und dem Verschleppungsfaktor, können eingegeben werden. Weiterhin wurde die zu beschichtende Stückzahl, die Gesamtoberfläche sowie das Gewicht aller Teile pro Trommel ermittelt. Damit die Simulation einen beliebigen Prozess durchlaufen kann, wurde das Beschichtungsprogramm mit Durchlaufzeiten in [s] und die Stromstärke in [Ah] festgelegt.

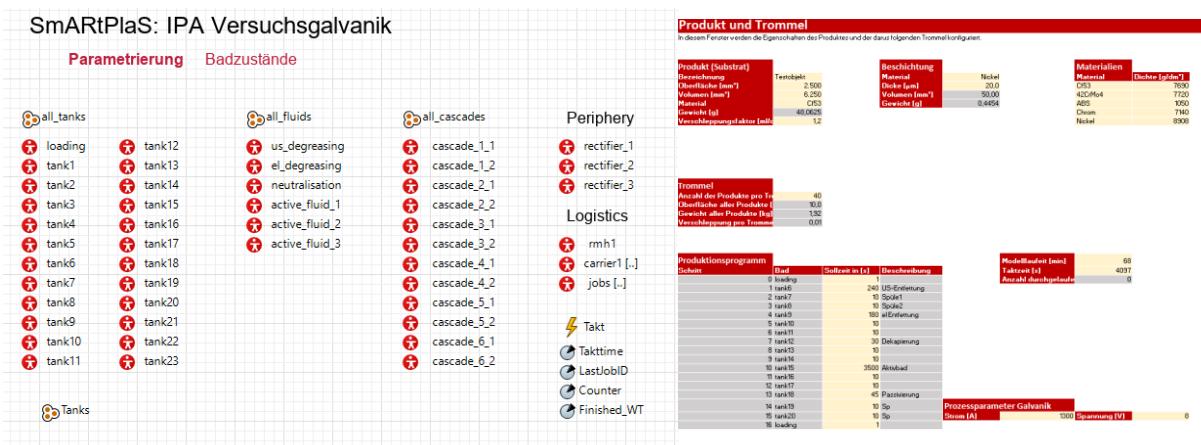


Abbildung 4: Elektrolytsimulation in Anylogic und die Parametrisierungsdatei.

Im simulationsbasierten Ansatz sind die Reihenfolge und die Dauer der zu befahrenden Bäder beliebig anpassbar und können je nach Beschichtungsprogramm neu eingestellt werden. Zusätzlich können die Startkonzentrationen der Prozessmedien aus verschiedenen Bädern wie zum Beispiel von der Salzsäure, Zink, Natriumcarbonat oder der Borsäure vor dem Versuchsstart eingetragen werden, so dass der Medienverbrauch nach dem Beschichtungsprozess simulativ ermittelt werden kann. Verdunstungsverluste sowie Verschleppungen verschiedener Fluide finden in der Simulation ebenfalls Berücksichtigung. Die durch die Simulation ermittelten Konzentrationen der Prozessmedien können automatisch in die Konfigurationsdatei geschrieben und zusätzlich in einer Exportdatei ausgegeben werden.

1.2.2. Datenbasierter Ansatz

Für die Erstellung des datenbasierten Ansatzes wurde die CRISP-DM-Methode (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) angewandt (s. Abbildung 5). Diese eignet sich für äußerst umfassende Analysen. Bei der Anwendung dieser Methode wird nach einer detaillierten Aufgabedefinition eine gründliche Datensammlung und -aufbereitung durchgeführt. Die strukturierte Vorgehensweise ermöglicht es, Schritt für Schritt Erkenntnisse zu gewinnen, die Einblicke in das Verhalten der Daten liefern sollen. Dies ermöglicht eine umfassende Sicht auf die verfügbaren Informationen sowie ein allumfassendes Datenverständnis. Anschließend folgt eine sorgfältige Datenanalyse, bei der komplexe Muster, Trends und Zusammenhänge identifiziert werden. Durch die Anwendung der CRISP-DM-Methode können allgemein wertvolle Erkenntnisse, wie beispielsweise Parametereinflüsse auf den Prozess, gewonnen und Vorhersagen sowie datenbasierte Entscheidungen getroffen werden.

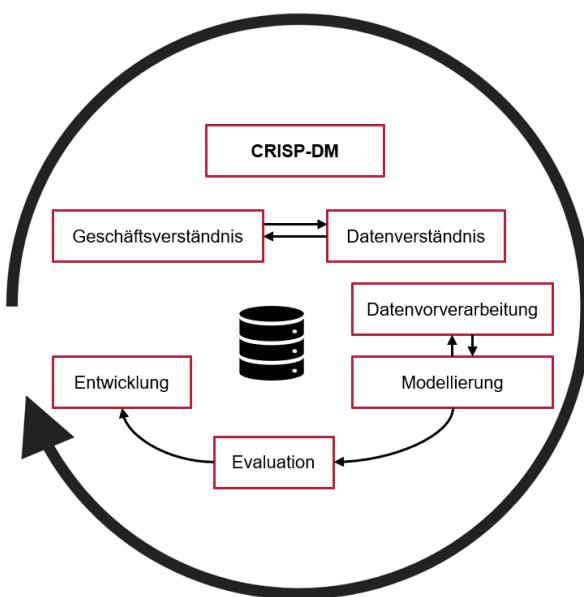


Abbildung 5: Standard Industry Process for Data Mining (CRISP-DM)

Zur Untersuchung der Abhängigkeiten wurde eine gezielte Variation der Parameter mithilfe der statistischen Versuchsplanung durchgeführt. Diese Methode ermöglicht eine systematische Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Parameter und zielt darauf ab, optimale Prozesseinstellungen zu identifizieren. Durch die sorgfältige Planung der Experimente und der anschließenden datenbasierten Modellerstellung konnten relevante Zusammenhänge und Einflussfaktoren auf die Beschichtungsqualität und die Verschleppung des Elektrolyten ermittelt werden. Die statistische Versuchsplanung stellt somit ein äußerst effektives Instrumentarium dar, das die datenbasierte Entscheidungsfindung unterstützt und eine Prozessverbesserung ermöglicht.

Die Entwicklung des datenbasierten Ansatzes zur vorausschauenden Elektrolytwartung erfolgte in Kooperation mit dem Fraunhofer IPA in Stuttgart. Für die Umsetzung wurden im Rahmen einer gemeinsam betreuten Masterarbeit Daten experimentell an der Lerngalvanik aufgenommen, auf Grundlage dessen ein datenbasierter Ansatz zur Parametereinflussanalyse in Abhängigkeit des Beschichtungsergebnis und der Elektrolytverschleppung entwickelt werden konnte.

Mittels der statistischen Versuchsplanung wurde dafür der pH-Wert im Aktivbad (Zinkbad) von 4,4-6,0 sowie die Stromdichte von 0,3-0,9 A/dm² variiert. Neben den genannten Parametern wurden zudem konstante Parameter wie die Temperatur, der Strom sowie die Spannung der Gleichrichter, der pH-Wert im Passivierungsbad und die Elektrolytkonzentration gemessen. Als Ausgangsparameter wurde zur Bewertung der Beschichtungsqualität die Schichtdicke, der Glanzgrad und die Farbe bestimmt. Zur Untersuchung der Parameterabhängigkeiten auf die Beschichtungsqualität wurden Standard-Trommelversuche sowie für die Bestimmung der Elektrolytverschleppung Trommel-Loop Versuche, mit Schweißbolzen als Substrate, durchgeführt. Die Trommel-Loop Versuche sollten dabei die Verschleppung des Elektrolyten experimentell simulieren. Dafür wurde die Trommel 25-mal im Kreislauf geführt und die Konzentration des Elektrolyten anschließend im Aktivbad sowie in den Spülbödern

analysiert. Die Loop-Versuche wurden insgesamt zweimal vergleichend durchgeführt sowie die Standard-Trommel-Versuche 26-mal. Zur Datenvor- und Aufbereitung der experimentell aufgenommenen Daten, wurde die kostenlose Knime Analytics Software verwendet. Im Zuge dessen erfolgten die Schritte des Datenimports, der Datenintegration, -sortierung und -klassifizierung, -transformation, -minimierung sowie -interpolation, um Datenlücken zu schließen, sodass die vorverarbeiteten Daten strukturiert weiterverarbeitet werden konnten.

Anschließend erfolgte die Modellauswahl und das Modelltraining, ebenfalls in der Software Knime. Im Rahmen dessen wurden anhand einer Korrelationsanalyse sinnvolle Parameterabhängigkeiten für die Modellerstellung identifiziert. Korrelationsfilter erlaubten die Reduzierung von redundanten Parametern für die Vorhersage. Das erstellte Modell basiert auf einem Random Forest Algorithmus, welcher sich aus einer Vielzahl an Entscheidungsbäumen zusammensetzt. Durch die Kombination mehrerer Entscheidungsbäume werden dadurch präzise Vorhersagen ermöglicht, indem sowohl Varianz reduziert als auch Overfitting minimiert wird. Die folgende Abbildung 6 zeigt beispielhaft eine Algorithmussschleife aus dem Modell zur Vorhersage der Elektrolytverschleppung. Die Schleife setzt sich

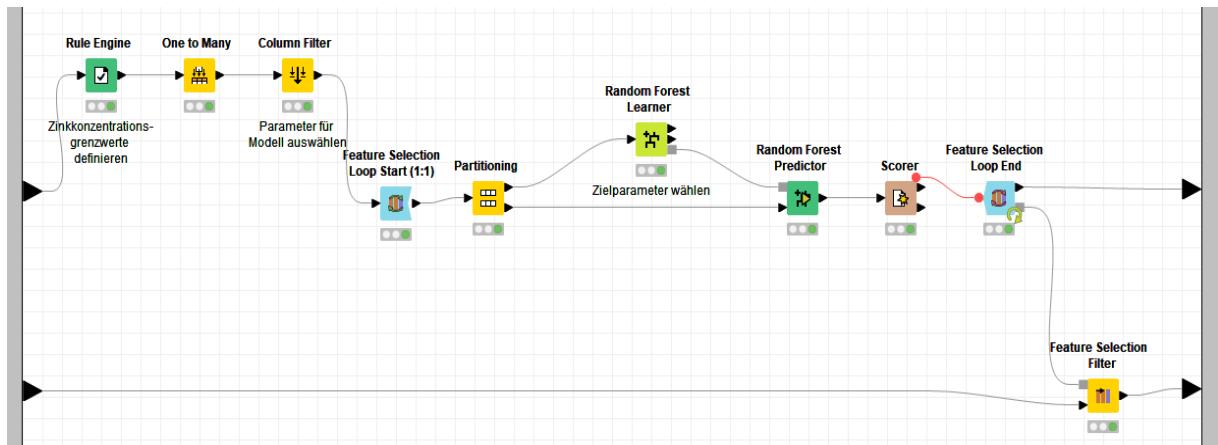


Abbildung 6: Modellausschnitt der Random Forest Schleife zur Vorhersage der Elektrolytverschleppung.

nach vorgesetzten Filtern aus einem „Partitioning“-Knoten (Aufteilung), der den Datensatz in Trainings- und Testdaten teilt, einem „Random Forest Learner“ (Random Forest Lerner), der das Modell auf Grundlage der Trainingsdaten anlernt sowie dem „Predictor“ (Voraussager), der eine Vorhersage des ausgewählten Parameters auf Basis des angelernten Modells trifft und mit dem Testdatensatz vergleicht, zusammen. Der nachgeschaltete „Scorer“ (Bewerter) bewertet anschließend die Vorhersagegüte. Den Schleifenanfang und das -ende kennzeichnen jeweils die „Feature Selection Loop“-Knoten (Parameter-Auswahlschleife). Der „Random Forest Learner“ verwendet dabei 70 % des Datensatzes zum Training, um auf Grundlage dessen Parameterabhängigkeiten zu identifizieren, um den Zielparameter vorherzusagen. Der „Predictor“ überprüft mit 30 % des Datensatzes die Vorhersage, die anschließend in dem „Scorer“ bewertet wird. Das Modell wird durch iterative Schleifen durch die „Feature Selection Loop“-Knoten stetig angelernt und verbessert. Als Ergebnis wird ein Entscheidungsbaum zur Vorhersage der Zielparameter ausgegeben.

Zum abschließenden Vergleich wurde der datenbasierte Ansatz mit dem modellbasierten verglichen, sodass das Arbeitspaket 3.2 vollständig abgeschlossen werden konnte.

1.3. Arbeiten im Arbeitspaket 3.3 Prototypische Entwicklung eines datenbasierten Ansatzes zur vorausschauenden Wartung für die periphere Anlagentechnik

Ansatz zur Datenakquise

Analog zu dem cyber-physischen System für den Elektrolyten und die Beschichtungsanlage (Abbildung 1) wird für die periphere Anlagentechnik ein cyber-physischer datenbasierter Ansatz entwickelt. Die Anwendung des datenbasierten Ansatzes zur vorausschauenden Wartung erfordert wie bereits im Arbeitspaket 3.2 beschrieben, zunächst die Erfassung entsprechender Daten aus der galvanotechnischen Anlage. Hierzu wurde für die Datenakquise ein eigener Ansatz erstellt (Abbildung 7).

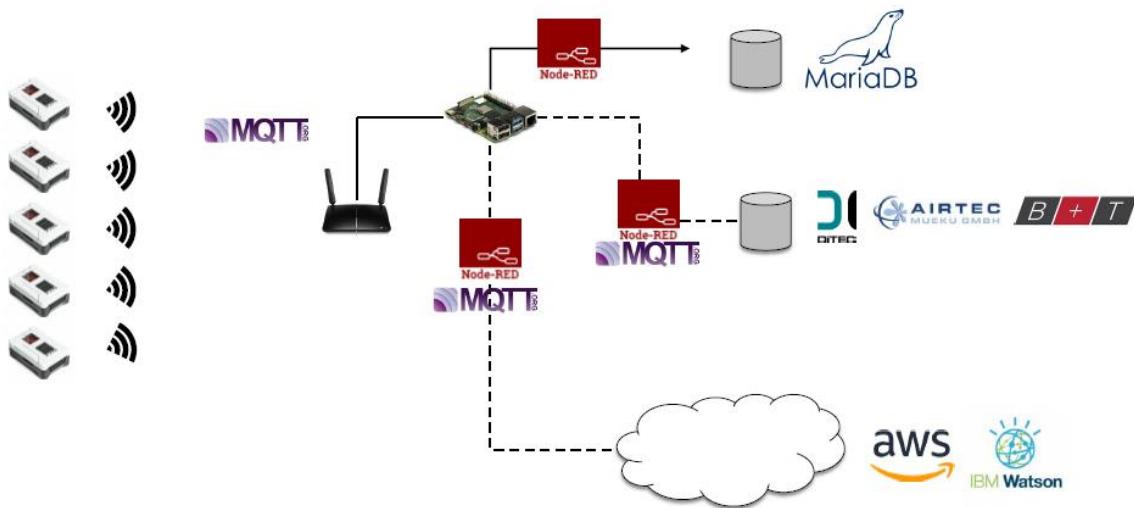


Abbildung 7: Datenaufnahme und Weiterverarbeitung

Prototypische Integration von XDK Sensoren

Für die Datenaufnahme wurde der Bosch XDK Sensorknoten verwendet, welcher per WLAN mit einem zentralen WLAN-Router verknüpft ist. Der integrierte Akku hält nur wenige Tage und eignet sich somit nur um kurzzeitige Ausfälle und Abschaltungen zu überbrücken, weshalb die Stromversorgung über einen USB-Anschluss notwendig ist. Dennoch reduziert sich der Verkabelungsaufwand erheblich, da eine Stromversorgung meist deutlich einfacher zu realisieren ist als eine Vernetzung mittels Netzwerkkabeln. Der Sensor ist mit einem Raspberry Pi basierend auf dem Linux Betriebssystem verbunden und die Kommunikation läuft über einen MQTT Broker. Mittels Node-RED lassen sich die Daten von dem Raspberry Pi sowohl auf eine interne Datenbank schreiben, auf eine externe Datenbank bei den Projektpartnern oder auch in eine externe Cloud speichern (z.B. AWS oder IBM Watson). Da insbesondere das Speichern auf fremden Cloudlösungen aus datenschutzrechtlicher Sicht kritisch ist, wurde bei der Entwicklung darauf geachtet, dass nur freie Software zum Einsatz kommt, welche auf eigener Hardware laufen kann. Der Sensor kann Vibrationen über Beschleunigungs-, Magnetfeld-, Gyroskopsensoren sowie Umgebungsbedingungen über Luftfeuchtigkeits-, Schall-, Temperatur-, Luftdruck- und Lichtintensitätssensoren erfassen. Um diese Methodik während der Coronaeinschränkungen zu prüfen, würden die Sensoren übergangsweise an einer vergleichbaren Test-Reinigungsanlage in Braunschweig angebracht. Die Daten wurden an der Testanlage über einen Zeitraum von 3 Monaten aufgenommen und vorverarbeitet.

Im ersten Schritt wurde das Bollinger Band (Abbildung 88) ermittelt, mit welchem das Normalverhalten der Geräte abgebildet werden konnte. Für eine festgelegte Fensterlänge im Datensatz wurden die Ober- und Untergrenze der Werte berechnet, die auf dem exponentiellen gleitenden Mittelwert und der Standardabweichung basieren. Die Daten wurden in definierten Fenstern entnommen, beispielsweise alle 1500 Zeilen, woraus der Mittelwert berechnet werden konnte. Für die Wahl der Fensterlänge und des Bollinger Koeffizienten ist zu beachten, dass über 95% der Rohdaten innerhalb des Grenzbereichs liegen sollten. Die Berechnung des Bollinger Bands eignet sich für die Visualisierung und Auswertung von Rohdaten, da Trendänderungen erfasst werden können.

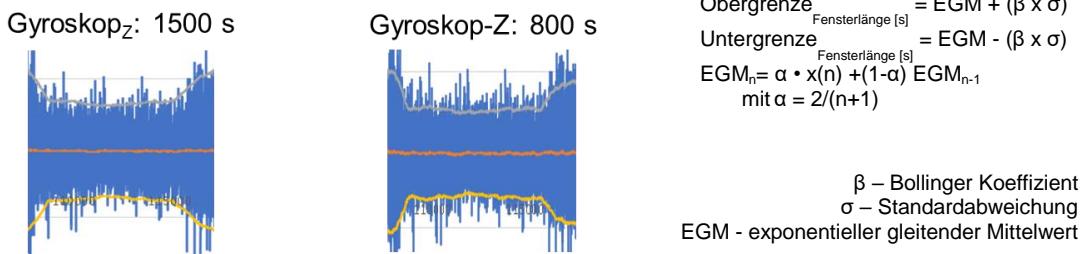


Abbildung 8: Bollinger-Band

Obwohl die Methodik erfolgreich in der Testumgebung erprobt wurde, haben sich die XDK Sensoren in einer galvanischen Umgebung als nicht geeignet erwiesen. Die Datenaufnahme konnte nicht lückenlos erfolgen, da die MQTT Verbindung wiederholt ausgefallen ist. Für einen datenbasierten Ansatz sind eine durchgängige Datenaufnahme sowie die Datenverfügbarkeit von großer Bedeutung, weshalb sie nach mehreren Monaten Testbetrieb ersetzt werden mussten. Sie wurden im Projekt durch SmartPredict Sensoren von INDTact ersetzt, die vergleichbaren Messgrößen aufnehmen können. Im Vergleich zu den XDK Sensoren läuft bei den SmartPredict Sensoren die Kommunikation mit der Steuerung über den Modbus anstatt MQTT, was sich in diesem Anwendungsfall als zuverlässiger zeigte. Es wurden insgesamt drei Sensoren an folgende Geräte angebracht: Zuluftventilator, Abluftventilator und Wäscherpumpe. Nach der erfolgreichen Installation der neuen Sensoren seitens AirTec MUEKU wurden die Daten über zwei Monate aufgenommen, um eine Grundlage für das Modelltraining zu schaffen.

Modellierung mit künstlichen neuronalen Netzwerken

Die Geräte wurden über eine längere Zeit überwacht, um das Normalverhalten zu erfassen. Da die Daten kontinuierlich aufgenommen werden, sollte der einzusetzende Algorithmus in der Lage sein, Zeitreihendaten zu verarbeiten. Sie werden als zeitlich geordnete Daten, die in regelmäßigen Intervallen aufgenommen wurden, bezeichnet und beinhalten Trends, (nicht-) saisonale Zyklen, Ausreißer, Impulse und Schritte.

Für die Zustandsüberwachung der Geräte ist es wichtig, dass diese Merkmale vom Modell erfasst werden. Nicht alle Algorithmen des maschinellen Lernens eignen sich für große Datensätze, weshalb in diesem Anwendungsfall die künstlichen neuronalen Netzwerke (KNN) gewählt wurden. Für die Aufgabe der Anomalieerkennung eignet sich der Autoencoder Algorithmus aufgrund seiner effizienten Feed Forward KNN Architektur (Abbildung 9). Er wird meistens für Dimensionalitätsreduktion, Anomalieerkennung, Entfernung von Bildrauschen sowie Klassifizierungs- und Regressionsaufgaben eingesetzt.

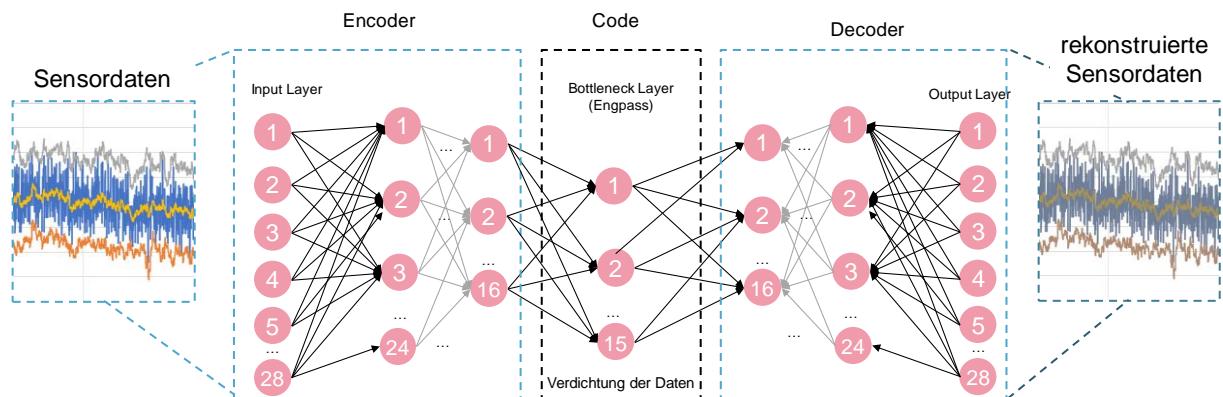


Abbildung 9: Architektur des entwickelten Modells

Die Grundidee der Anomalieerkennung mit einem Autoencoder besteht darin, die Daten in Form von Input-Layern in mehreren Schritten zu komprimieren, so dass im Engpass-Layer die Zusammenhänge und Muster in den Daten gespeichert werden, um sie wieder so gut wie möglich im Output-Layer rekonstruieren zu können. Je niedriger der Rekonstruktionsfehler, desto präziser ist das Modell. Das antrainierte Modell kann dafür verwendet werden, um langfristig Anomalien in den Daten zu erkennen. Da das Modell das „normale“ Datenverhalten angelernt hat, kann es an neuen Daten angewendet werden,

um zu überprüfen wie ähnlich die aktuellen Trends und Muster in neuen Daten zu dem ursprünglichen Trainingsdatensatz sind. Als Rekonstruktionsfehler MSE gilt der mittlere quadratische Fehler (engl. für Mean Squared Error), der wie im Folgenden definiert wird:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - X'_i|^2 \quad (1)$$

In das Modell wurden Sensordaten sowie Anlagendaten mit insgesamt 28 Eingangsparametern (Spalten) berücksichtigt, die als 28 Input Layer dienten. Die Daten werden auf Training- und Testdaten aufgeteilt (data split). In diesem Fall wurden 80% der Daten für die Trainingszwecke eingesetzt und 20% zum Testen des Modells. Die Modellierung wird iterativ durchgeführt, bis die Modellierungsparameter optimal auf den Datensatz ausgerichtet sind, so dass eine Verlustkurve (engl. Loss Curve) mit den Testdaten niedrig ausfällt.

Die Architektur des Autoencoders für das Gerät 1 besteht darin, die 28 Parameter innerhalb von 7 Layern auf 15 Parameter zu verdichten und sie durch weitere 7 Output Layer zu rekonstruieren (Abbildung 9). In den Layern wurde die ReLu (Rectified Linear Unit) Aktivierungsfunktion angewendet, die sich für numerische Aufgaben und eine schnelle Rechenzeit gut eignet. Beim Kompilieren wurden der Optimizer Adam und die Metrik Genauigkeit (engl. accuracy) eingestellt. Das Modell wurde in 15 Trainingsepochen mit einer Batchgröße von 100 trainiert. Die Modellgüte kann entweder durch den R² (Bestimmtheitsmaß) oder die Verlustkurve beurteilt werden (Abbildung 10).

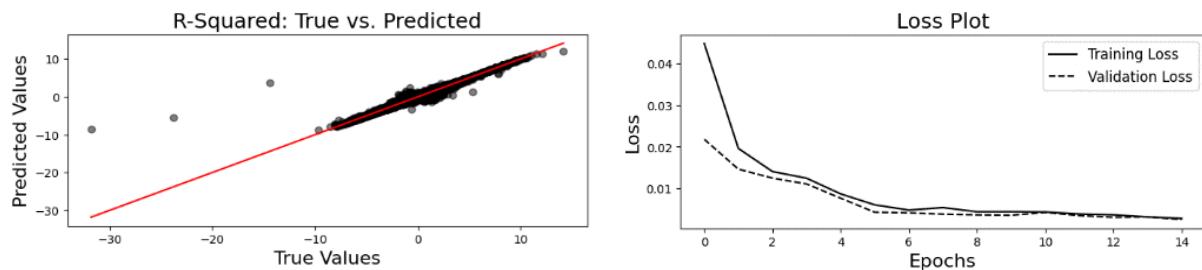


Abbildung 10: Bewertung des antrainierten Modells durch R² und die Loss-Kurve

Die Validierung des Modells erfolgt mit dem Testdatensatz. R²=0,996 und die Verlustkurve < 0,04 % deutet auf ein Modell mit hoher Vorhersagegüte, welches auch mit neuen Daten präzise Vorhersagen trifft. Der gleiche Entwicklungsvorgang wurde für die weiteren zwei Geräte durchgeführt. Die drei Modelle wurden in Python erstellt und können in der kostenlosen Software Visual Studio Code ausgeführt werden. Hiermit wurde das Arbeitspaket 3.3 erfolgreich abgeschlossen.

1.4. Arbeiten im Arbeitspaket 3.4 Prototypische Entwicklung von AR Applikationen für Elektrolyten und periphere Anlagentechnik zu Unterstützung der Smart-Services

Im Rahmen des Projektes wurde eine prototypische AR Applikation entwickelt, mit welcher die Schichtdicke eines beschichteten Bauteils mit einer Heatmap visualisiert wurde (Abbildung 11). Die Applikation wurde in der Entwicklungssoftware Unity mit Vuforia Packages mit aus dem Labor ermittelten Schichtdickendaten erstellt.

In diesem Prototyp ist die Anzeige statisch, es wird keine Schichtdicke in Echtzeit ermittelt. Um die Applikation echtzeitfähig zu machen, wäre ein bildbasiertes KI-Modell notwendig gewesen. Unity unterstützt derzeit jedoch keine Machine Learning Modelle.

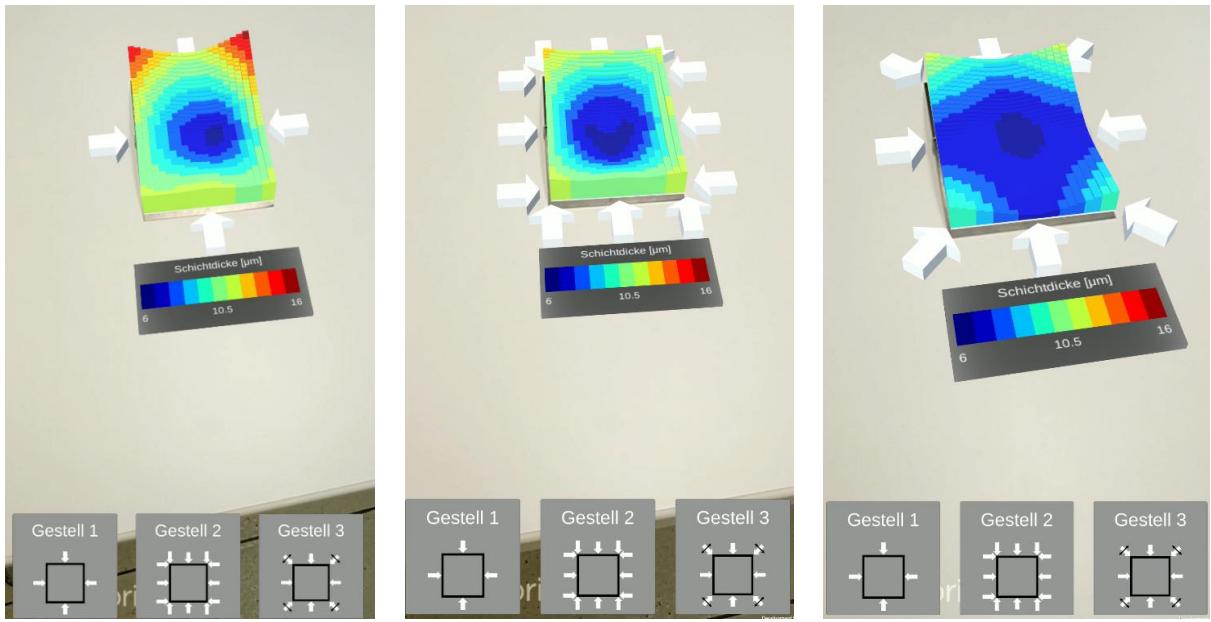


Abbildung 11: Visualisierung drei verschiedenen Schichtdickenverteilungen auf einem Bauteil

Eine AR Applikation mit der Visualisierung des simulationsbasierten Ansatzes wurde als nicht sinnvoll erachtet, da die Software Anylogic keine Schnittstellen zu Unity enthält und die Daten offline in die Simulation geladen werden.

Für die datenbasierten Ansätze wurde ein AR Demonstrator prototypisch aufgebaut, der die Echtzeitdaten in einem dynamischen Graphen abbildet (Abbildung 12). NutzerInnen sind in der Lage in einem Dropdownmenü den zu betrachtenden Sensor und anschließend die Messgröße auszuwählen.

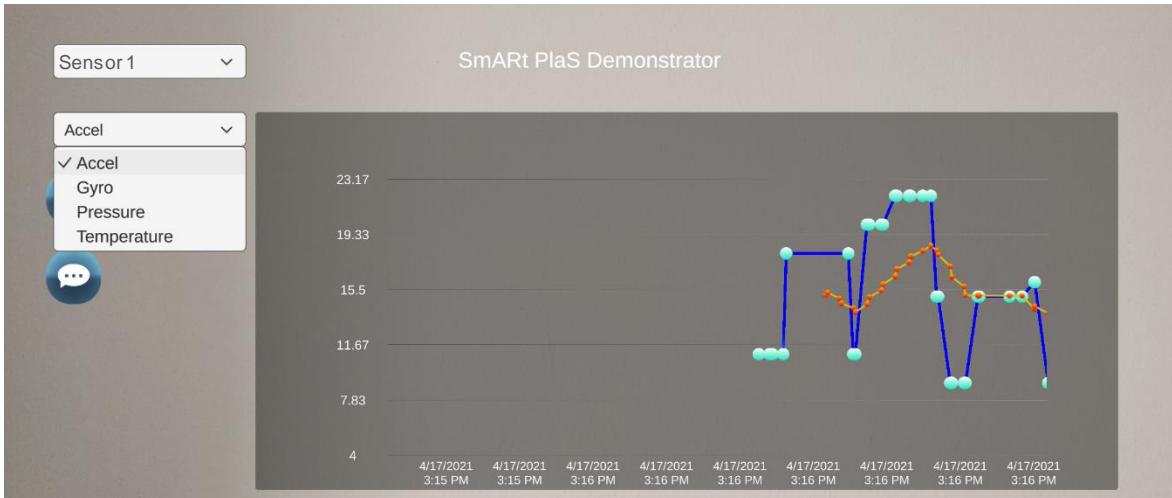


Abbildung 12: Screenshot aus der AR-Applikation

Die Daten werden aus der Datenbank in Echtzeit aufgerufen und in einem dynamischen Graph dargestellt. Somit kann das mit Sensoren ausgestattete Gerät vor Ort überprüft werden, während die Echtzeitdaten auf einem mobilen Gerät (Handy, Tablett) aufgerufen werden. Allerdings sind bei einer niedrigen Datenlatenz die Änderungen in den Graphen nicht deutlich sichtbar, da neue Messwerte lediglich alle 2 bis 5 Sekunden erzeugt werden. Aufgrund von begrenzten Speicherkapazitäten der AR-Geräte können keine umfangreichen historischen Werte mobil in der Applikation gespeichert werden, weshalb beim Aufruf großer Datenmengen die Software an ihre Grenzen stößt. Als möglicher Lösungsansatz wird vorgeschlagen, für ähnliche Zwecke einen Server einzurichten, auf welchem bei Bedarf auf historische

Daten zugegriffen werden kann, ohne diese in der mobilen AR App lokal speichern zu müssen. Zusammenfassend eignet sich die AR Lösung vom Projektpartner Softec mit der statischen Anzeige der Werte für jedes Beschichtungsbad für diesen Anwendungsfall besser, als die dynamisierte Anzeige.

Ferner wurde das Autoencoder-Modell zur Geräteüberwachung mit einem sehr umfangreichen Datensatz erstellt, weshalb aufgrund der begrenzten Rechenleistung der mobilen Geräte eine AR Visualisierung ausgeschlossen wurde. Als Alternative wurde ein mobiles Dashboard entwickelt, mit welchem die Rohdaten, historische Daten sowie die Modellergebnisse visualisiert werden können. Das in Visual Studio Code erstellte Dashboard dient zur Visualisierung des Rekonstruktionsfehlers in Echtzeit. Die Daten werden aus der Datenbank geladen und das Modell wird direkt auf die neuen Daten angewendet. Um mehr Kontext zu dem Datenverhalten zu erhalten, werden auch die monatlichen MSE der letzten drei Monate visualisiert. Für eine langfristige Überwachung werden die Rohwerte und Trends im Dashboard überwacht. Neben den Rohwerten der Sensorgrößen werden auch tägliche und wöchentliche Mittelwerte der vergangenen Monate visualisiert (s. Abbildung 13).

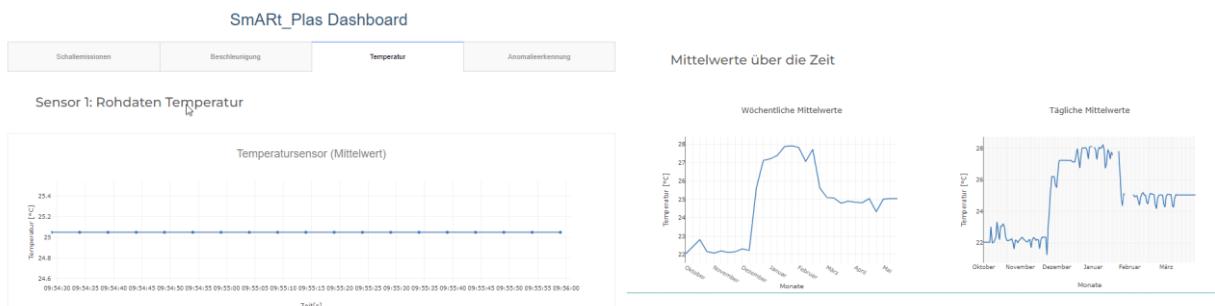


Abbildung 13: Rohdaten in Echtzeit und die Mittelwerte von vergangenen Monaten

1.5. Arbeiten im Arbeitspaket 3.5 Validierung der prototypischen Ansätze für die vorausschauende Wartung und die entwickelten AR Applikationen

Zur Validierung des datenbasierten Modells für die vorausschauende Wartung der Anlagenperipherie wurde das Modell, auf Basis der aufgenommenen Daten von Oktober 2022 bis März 2023, angewendet. Liegt der Rekonstruktionsfehler MSE unter 10, wird dieser als keine Anomalie gewertet. Grundsätzlich kann eine Anomalie verschiedene Ursachen haben. Systemänderungen würde das Modell als divergentes Verhalten im Vergleich zum Trainingsdatensatz deuten und es als eine Anomalie kenntlich machen. Dies deutet nicht unbedingt auf ein Problem im System hin. Beispielsweise wird in der ersten Dezemberwoche und überwiegend im Januar montags ein höherer Fehler ($10 < \text{MSE} < 100$) gezeigt, als samstags und sonntags der abgesenkten Betrieb der Anlage eingeführt wurde (s. Abbildung 14).

Ein hoher Fehler $\text{MSE} > 100.000$ wurde Ende Dezember identifiziert, bei dem eine jährliche Wartung an der Anlage durchgeführt wurde. Da die Sensoren Vibrationen aufnehmen, wurden die lauten Wartungsarbeiten als Anomalie erfasst. Zusammenfassend konnte das Modell bestätigen, dass sich die Geräte in einem guten Zustand befanden, da nach den Wartungsarbeiten erneut ein niedrigerer Rekonstruktionsfehler ermittelt wurde. Die Wartung kann abhängig von dem Digitalisierungsgrad in 4 Reifestufen aufgeteilt werden. Während in der ersten bzw. zweiten Stufe eine visuelle bzw. Instrument-Inspektion durchgeführt wird, findet in der Stufe 3 eine Echtzeitzustandsüberwachung statt. Die vierte Wartungsstufe ermöglicht die vorausschauende Wartung, da ein unvorhersehbares Maschinenversagen rechtzeitig erkannt und behoben werden kann.

In dem Projekt wurde der Ansatz zur Stufe 3 der Geräteüberwachung validiert. Da es in dem Projektzeitraum zu keinem Geräteausfall gekommen ist, konnte der Ansatz auf Stufe 4 nicht validiert werden. Für die Ansätze der vorausschauenden Wartung Stufe 4 ist es notwendig, die Daten von Geräteausfällen aufzunehmen und den aufgetretenen Fehler genauer zu untersuchen, um in bestimmten Ausfallsituationen proaktiv agieren zu können.

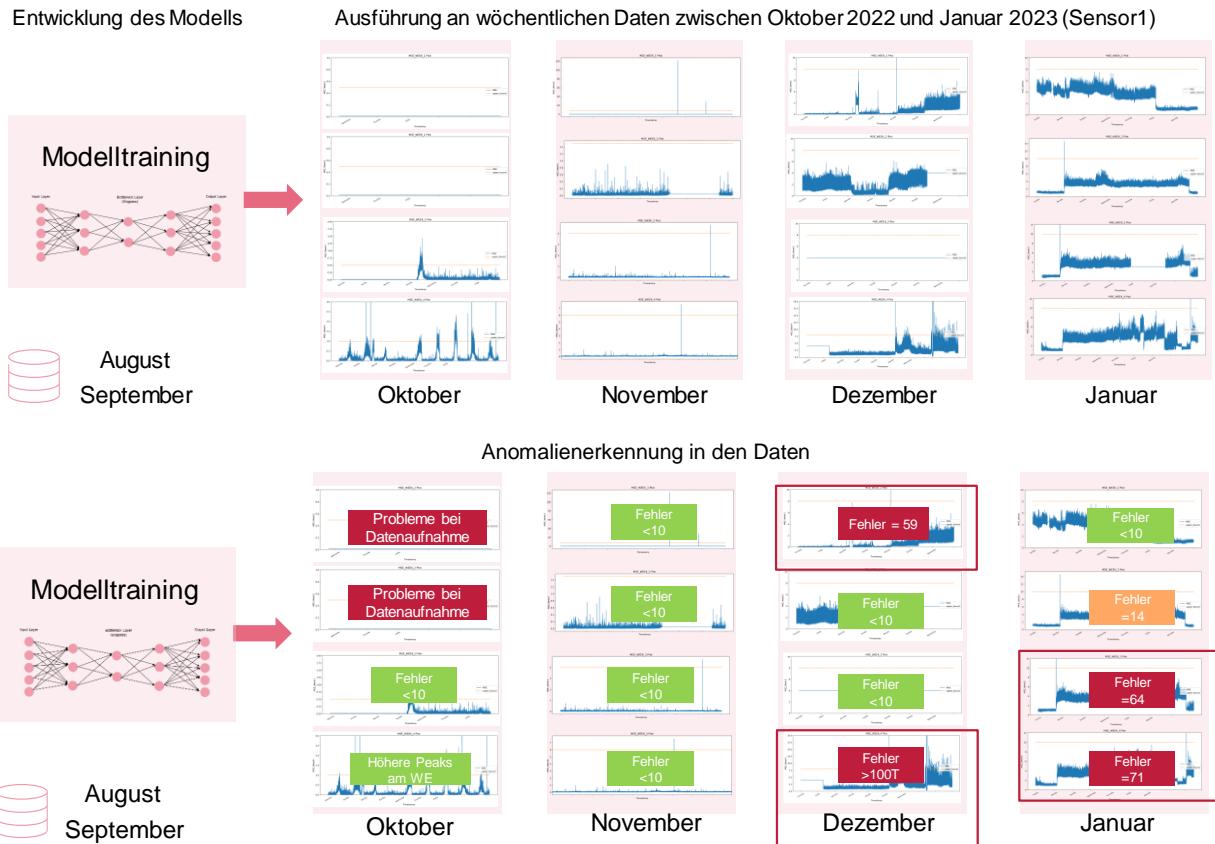


Abbildung 14: Modellanwendung und die erkannten Anomalien im Validierungsdatensatz

2. Erzielte Ergebnisse (ggf. durch Bilder, Diagramme oder Grafiken ergänzen)

Das Ergebnis aus dem ersten Arbeitspaket ist der entwickelte Bezugsrahmen (Abbildung 15), der eine methodische und ganzheitliche Entwicklung von Smart Services, die auf cyber-physischen Produktionsystemen basieren, ermöglicht.

Das zentrale Element bildet dabei das physische System, das spezifische Bestandteile einer galvano-technischen Anlage umfasst. Die umgebende Schale erfasst Daten aus dem physischen System, die wiederum als Grundlage für die nächste Schicht dienen, in der das Cyber-System integriert ist.

Mithilfe seiner daten- und simulationsbasierten Analyse- sowie Prädiktionsfunktionen ermöglicht das Cyber-System eine Unterstützung der Entscheidungsfindung für Anwender im Produktionsbetrieb. Demzufolge baut die Entscheidungsunterstützung das Fundament für die äußerste Schale, den Service. Mithilfe von digitalen Methoden und Werkzeugen werden Smart-Service-Lösungen ermöglicht.

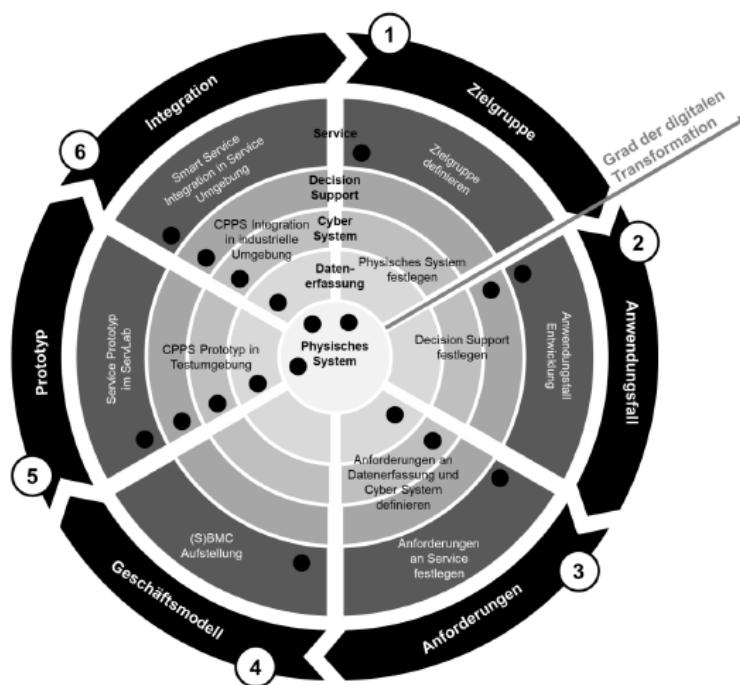


Abbildung 15: Entwickeltes Rahmenwerk zur Entwicklung von Smart Services

Beispielsweise können Anlagenbauer ihren Kunden gezielter passende Services anbieten. Die Smart-Services basieren auf dem aktuellen Zustand der Anlage und den prognostizierten zukünftigen Entwicklungen (vorausschauende Wartung).

Eine höhere Schalenumsetzung innerhalb eines Unternehmens deutet auf einen höheren Grad der digitalen Transformation hin. Hierbei stellt eine Anlage ohne Datenerfassung die niedrigste Stufe und die Implementierung eines holistischen Smart Services die höchste Stufe dar. Entscheidend für einen maximalen Grad digitaler Transformation ist, dass alle Schalen aufeinander aufbauen und nicht unabhängig für sich stehen.

Ein einfacher analoger Wartungsservice für eine Anlage stellt hierbei noch keinen Smart Service dar, da die darunterliegenden Schichten nicht berücksichtigt werden.

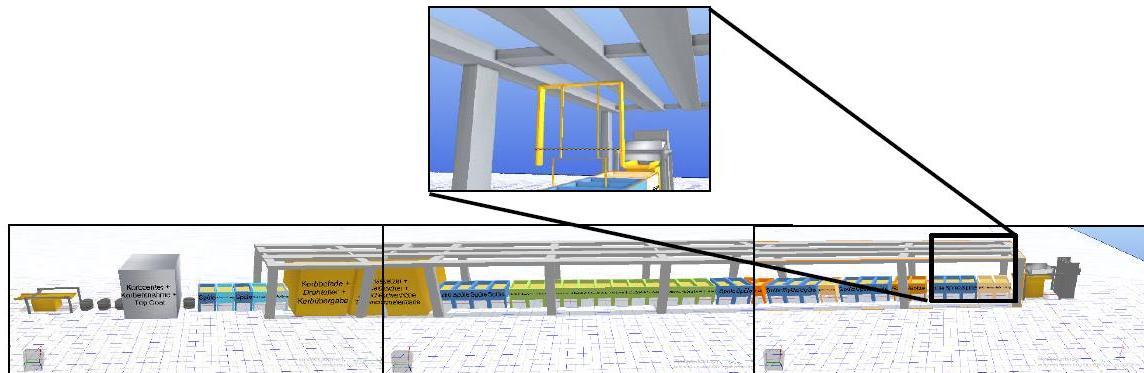


Abbildung 16: 3D Visualisierung aus der Simulation der Anlage bei Partner B+T Oberflächentechnik

Die Modellierung der Anlage beim Projektpartner B+T ermöglicht eine Virtual Reality Simulation (Abbildung 16). Die Nutzenden sind in der Lage mit den Objekten zu interagieren, da die Simulation bewegliche Elemente enthält. Es ist ebenfalls möglich die Simulation an das MES von Projektpartner DiTEC anzubinden, um die Verfahrprogramme zu importieren.

Beschichtungslinie

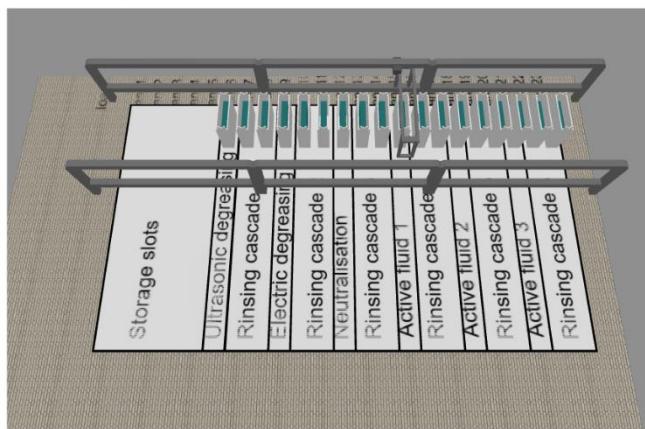


Abbildung 17: Screenshot von dem Simulationsapplet

Weiterhin erlaubt die Anylogic-basierte Elektrolytsimulation das Durchspielen verschiedener Beschichtungsszenarien in einem Applet, sodass die kostenpflichtige Software Anylogic nicht erforderlich ist. Die Simulation greift auf die zuvor eingestellte Parametrierung in Excel der Aktivbäder und Spülen und visualisiert die Ergebnisse sowohl zweidimensional, als auch dreidimensional (Abbildung 17). Die Simulationsergebnisse der Badkonzentrationen sowie der Verschleppung nach dem Beschichtungsprozess werden in Echtzeit visualisiert und anschließend in eine Datei exportiert.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des datenbasierten Ansatzes für die Elektrolytwartung vorgestellt. Wie bereits beschrieben, erfolgte die Modellierung in der kostenfreien Software Knime. Durch die Korrelationsanalyse der Elektrolytverschleppung konnten keine klaren Parameterabhängigkeiten identifiziert werden und lediglich eine schwache Korrelation mit den Stromflüssen und der Spannung

des Aktivbads war erkennbar (vgl. Abbildung 18). Der größte Einflussfaktor auf die Verschleppung stellte die Anzahl der Durchläufe dar. Der datenbasierte Random Forest Ansatz erkennt zudem selbstständig direkte Parameterabhängigkeiten ohne Vorgaben. Auf Basis des Random Forest Modells kann die Elektrolytverschleppung mit einer Vorhersagegüte von 99,97 % vorhergesagt werden. Sinkt der pH-Wert des Aktivbads unter 5,195 beträgt die Elektrolytverschleppung mehr als 1 g/L.

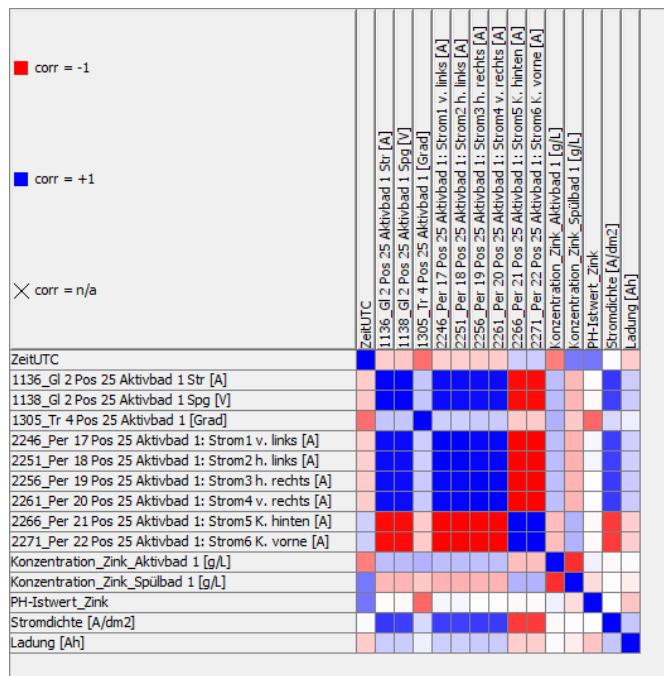


Abbildung 18: Korrelationsanalyse der Elektrolytverschleppung der Komponente Zink in das erste Spülbad

Bei einem pH-Wert größer 5,195 sinkt die Elektrolytverschleppung unter 1 g/L. Zu beachten ist hier, dass ein sehr kleiner Datensatz zu Grunde liegt und das Modell daher nur unzureichend angelernt werden konnte. Als weiteres Beispiel für die Beschichtungsqualität kann die Schichtdicke vorhergesagt werden. Diese korreliert sehr stark mit der Stromdichte, der Spannung und dem Strom im Aktivbad. Der Algorithmus erkennt auf Grundlage der Daten, dass eine Schichtdicke von ~ 10 µm bei einer Stromdichte von $\leq 0,75 \text{ A/dm}^2$ und $\geq 0,45 \text{ A/dm}^2$ erreicht wird. Steigt die Stromdichte, erhöht sich ebenfalls die Schichtdicke und umgekehrt. Die Vorhersagegüte konnte bei diesem Modell mit 100 % bestätigt werden.

Das Ergebnis des datenbasierten Ansatzes für die Anlagenperipherie ist ein pythonbasiertes Autoencoder-Modell, welches zur Anomalierkennung dient (Abbildung 19). Das Modell hat auch über einen längeren Zeitraum eine sehr hohe Vorhersagegüte ($R^2 = 0,996$ und die Verlustkurve $< 0,04\%$).

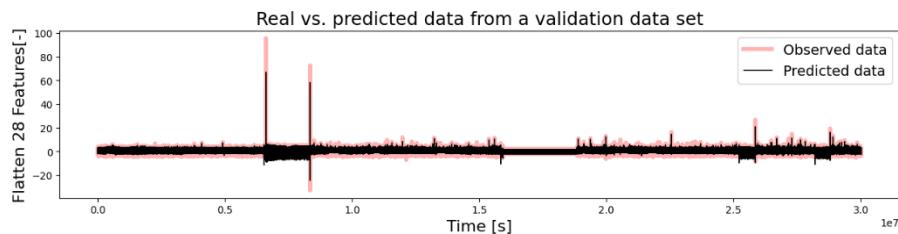


Abbildung 19: Vorhersage der Daten mit dem künstlichen neuronalen Netzwerk Autoencoder

3. Verwendung der Zuwendung

Für die Entwicklung von Methoden für die vorausschauende Wartung fiel der größte Mittelbedarf für das Personal an. Dies umfasste wissenschaftliche Personalstellen (36 PM). Zusätzlich wurden HilfswissenschaftlerInnen eingestellt. Darüber hinaus wurden zu Entwicklungszwecken diverse Hardware (Rechner, Mixed Reality Endgeräte, Sensoren etc.) sowie Softwarelizenzen (Unity, Vuforia, Anylogic, Emulate 3D etc.) beschafft. Zur Verbreitung und Diskussion der wissenschaftlichen Erkenntnisse sowohl auf nationalen als auch auf internationalen Fachkonferenzen und Messen wurden Reisemittel verwendet.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Im Jahr 2020 galt die überwiegende Mehrheit der Unternehmen in Deutschland mit 99,4 % zu den kleinen und mittleren Unternehmen¹. Trends wie die Digitalisierung der Prozesse oder das Anbieten von Smart Services stellen für viele Branchen eine Herausforderung dar. Besonders in der Galvanikbranche ist das Einführen von Industrie 4.0 Lösungen von hoher Bedeutung, damit die Galvanik-KMU langfristig wettbewerbsfähig bleiben können. Der Forschungsbedarf zur Implementierung von vorausschauender Wartung in der galvanischen Prozesskette ist hoch, da besondere Umgebungsbedingungen sowie Sicherheitsanforderungen bestehen.

5. Voraussichtliche Nutzen der Ergebnisse i.S. des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden in Messe Vorträgen, auf Konferenzen, in wissenschaftlichen Journals und in Fachzeitschriften veröffentlicht. Weiterhin werden die Ergebnisse in der Lehre sowohl in Vorlesungen als auch in Laboren vermittelt. Die entwickelten Ansätze lassen sich auch auf andere Beschichtungsverfahren sowie andere Produktionsbereiche übertragen. Sie können als Ausgangsbasis für weitere Projekte genutzt werden, beispielsweise um die Methoden und Ansätze mit einem höheren Technologiereifegrad zu entwickeln. Die Technische Universität Braunschweig hat als Hochschule keine wirtschaftlichen Erfolgssichten.

6. Bekannt gewordener Fortschritt auf Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen (während Projektlaufzeit)

Es sind keine Fortschritte bei anderen Stellen bekannt.

7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 NKBF

Die erfolgten Veröffentlichungen und Vorträge können aus der folgenden Liste entnommen werden:

Titel	Autor	Medium und Jahr
Entwicklung von Smart Services. Ein Bezugsräume n und Anwendung in der Galvanotechnik	Leiden, A. et al.	Jahrbuch Oberflächentechnik 2020
Model-based analysis, control and dosing of electroplating electrolytes	Leiden, A. et al.	Journal of Advanced Manufacturing 2020
Chancen durch den Einsatz von Mixed Reality in der Oberflächentechnik	Leiden, A. et al.	WOMag 2020
Cyber-physical production system approach for energy and resource efficient planning and operation of plating process chains	Leiden, A., Herrmann C., Thiede S.	Journal of Cleaner Production 2021
Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik	Rosic, M.	Online Smartplas Webinar, 2021
Kurzvorstellung des Projektes	Rosic, M.	Dienstleistungskongress High Tech Meets High Touch 2021
Vorausschauende Wartung in galvanischen Prozessketten	Rosic, M.	Surface Technology Messe 2022
Reference Model for Product-Service Systems with an Use Case from the Plating Industry	Schiller C., et al	IFIP Advances in Information and Communication Technology 2022
Modell- und datenbasierte Methoden und Werkzeuge für intelligente Dienste in der Galvanotechnik	Rosic, M. et al	WOMag 2022

¹ Statista: Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in Deutschland (2020), Link: <https://de.statista.com/statistik/studie/id/46952/dokument/kleine-und-mittlere-unternehmen-kmu-in-deutschland/>, 2022

8. Geplante Veröffentlichung:

Titel	Autor	Medium und Jahr
Towards Real-Time Condition Monitoring of Electroplating Plants	Rosic, M. et al.	Global Conference on Sustainable Manufacturing 2023

AP 4: Sachbericht von Softec AG

Dirk Serfling

Teil I: Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Entwicklung eines Dienstleistungs- und Augmented Reality Module zur Integration von Augmented Reality in die Produktionsplanung und -steuerung von Galvanikbetrieben zur individualisierten, IT-gestützte Mitarbeiterführung und darauf aufbauenden intelligenten Diensten.

AP4 – Integration Augmented Reality in Smart Services (Leitung: Softec AG, Mitarbeit: B+T, IWF, IAT, DiTEC)

Die entwickelten prototypischen AR Applikationen sollen in die Software Umgebung von Galvanikbetrieben (ERP / MES) integriert werden und zur vollständigen Anwendungsreife gebracht werden. Es wird sichergestellt, dass die AR Applikationen in verschiedenen Betriebsumgebungen funktionieren und einfach durch den Anwender zu bedienen sind.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Augmented Reality (AR) oder auf Deutsch "Erweiterte Realität" repräsentiert das neueste Medium mit dem Potenzial, die Arbeitswelt zu revolutionieren. Goh et al. definieren AR wie folgt (übersetzt aus dem Englischen):

„[Augmented Reality] 1) kombiniert reales und virtuelles Bildmaterial; 2) ist interaktiv in Echtzeit und 3) zeigt das virtuelle Bildmaterial in der realen Umgebung.“ [Goh et al. 2019]

Insbesondere im Freizeitkontext hatten viele Leute bereits erste Kontakte mit AR, beispielsweise bei Games (u.a. PokemonGo), Tourismus-Apps oder als interaktives Erlebnis in Museen. Diese Beispiele unterstreichen den zentralen Vorteil von AR: die Fähigkeit, digitale Informationen in einem realen Kontext zu visualisieren. In einer Zeit, in der die Digitalisierung die Art und Weise, wie wir arbeiten und leben, neu definiert, bietet AR eine innovative Möglichkeit, Prozesse neu zu denken und zu gestalten. Dies legt nahe, dass AR auch im industriellen Sektor, z.B. in der Inhouse-Logistik [Wang et al. 2020] oder bei Wartungsaufgaben [Palmarini et al. 2017], potenzielle Anwendungen finden könnte.

Die Herausforderung liegt darin, die Möglichkeiten von AR so zu adaptieren und zu erweitern, dass sie den spezifischen Anforderungen und Gegebenheiten industrieller Prozesse gerecht werden und Informationen sichtbar machen, die bisher nicht oder nur unzureichend sichtbar sind.

3. Plan und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung)

Im Rahmen des Forschungsprojekts SmARtPlaS stand die Entwicklung einer Augmented Reality (AR) App im Vordergrund. Ziel dieser App war es, technische Daten, die normalerweise nicht direkt sichtbar sind, über den entsprechenden Anlagenkomponenten darzustellen. Auf diese Weise könnte der Nutzer unmittelbar erkennen, ob technische Parameter innerhalb ihrer vorgegebenen Toleranzgrenzen liegen.

1.1. Bewertung von AR-Hardwareoptionen für das Forschungsprojekt SmARtPlaS

Zu Beginn des Projekts war geplant, die HoloLens 2 von Microsoft als primäre AR-Hardware einzusetzen. Aufgrund von Lieferverzögerungen der HoloLens 2 entschied sich das Team, als Alternative auf herkömmliche Smartphones umzusteigen. Dieser Umstieg brachte verschiedene Vorteile mit sich.

Ein großer Vorteil von Smartphones ist ihre weitverbreitete Verfügbarkeit. Fast jeder Mitarbeiter besitzt heutzutage ein solches Gerät. Zusätzlich kann das Smartphone unkompliziert und rasch aus der Tasche gezogen werden, wodurch keine zusätzliche Ausrüstung erforderlich ist. Im Gegensatz zur HoloLens 2 haben Nutzer mit Smartphones nicht ständig beide Hände frei, was sich in bestimmten Anwendungsfällen als nachteilig erweisen kann. Da die Nutzer die App hauptsächlich zur Überwachung der Anlagenwerte verwenden und nicht direkt an der Anlage arbeiten, ist die Handfreiheit in diesem Fall jedoch nicht zwingend erforderlich.

Darüber hinaus könnte der Einsatz von Smartphones kosteneffizienter sein, da keine zusätzlichen, hohen Anschaffungskosten für spezialisierte Hardware anfallen würden, insbesondere wenn Mitarbeiter ihre eigenen Geräte nutzen. Außerdem erhalten Smartphones regelmäßig Software-Updates, und es ist einfacher, Anwendungen für diese Plattform zu aktualisieren und zu skalieren.

1.2. Wechsel der AR-Bibliothek

Während der initialen Phasen des Projekts war die Priorität, einen tragfähigen Prototypen für einen Proof of Concept zu erstellen. Die Wahl fiel zu diesem Zeitpunkt auf ARCore von Google, was aufgrund seiner technischen Überlegenheit und breiten Akzeptanz als die fortschrittlichste AR-Bibliothek betrachtet wurde.

Die Entscheidung, von ARCore zu ARFoundation zu wechseln, wurde nicht leichtfertig getroffen. Die Hauptmotivation war die Plattformunabhängigkeit. Während ARCore primär Android-Geräte unterstützt, bietet ARFoundation die Flexibilität, sowohl Android- als auch iOS-Geräte zu unterstützen. Dies war ein entscheidender Vorteil, da es uns ermöglichte, ein breiteres Publikum zu erreichen und die Anwendung für Nutzer beider Hauptmobilplattformen verfügbar zu machen.

Die Integration von ARFoundation in unser Projekt war vergleichsweise reibungslos und fügte dem Endprodukt erheblichen Wert hinzu. Es ermöglicht nicht nur eine größere Marktdeckung, sondern auch eine verbesserte Performance und eine bessere Anpassungsfähigkeit für zukünftige AR-Entwicklungen.

4. Wesentliche Ergebnisse im Überblick

Im Rahmen des Projekts wurde eine Augmented Reality (AR)-Anwendung konzipiert und erfolgreich implementiert, die speziell für die Integration mit der MQTT-Schnittstelle sowie dem Smart Factory Interface entwickelt wurde. Bei empirischen Tests in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut IPA wurde die Anwendung zusammen mit einer Ditec Steuerung installiert und evaluiert. Zusätzlich fand eine weitere Installation bei der Bandgalvanik Enayati in Kombination mit einem Luftwäscher des Herstellers Airtec statt. Beide Implementierungen lieferten überzeugende Ergebnisse hinsichtlich der Funktionalität und Zuverlässigkeit der AR-App und attestierte damit die Marktreife des Produkts.

Ein weiterer bedeutsamer Aspekt dieses Projekts ist das in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IAO konzipierte Geschäftsmodell. Dieses Modell zeichnet sich durch seine bereits nachgewiesene Effizienz aus und wird bereits bei diversen anderen Anwendungen mit Erfolg umgesetzt.

Jedoch ergibt sich aus den gewonnenen Erkenntnissen auch eine zentrale Herausforderung für die zukünftige Marktdurchdringung und -akzeptanz der AR-App: Es ist von essentieller Bedeutung, weitere Hersteller von Steuerungssystemen im industriellen Kontext davon zu überzeugen, eine MQTT-Schnittstelle in ihre jeweilige Software zu integrieren. Nur durch eine solche branchenweite Akzeptanz und Implementierung kann die AR-App ihr volles Potenzial entfalten und einen nachhaltigen Beitrag zur Digitalisierung industrieller Prozesse leisten.

5. Ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Nicht zutreffend.

Zuwendungsempfänger: Softec AG	Förderkennzeichen: FKZ: 02K18D113 PT-Bearb.: Schlimm
Förderprogramm: Internetbasierte Dienstleistungen für komplexe Produkte, Produktionsprozesse und -anlagen	
Titel des Vorhabens: Verbundprojekt: Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik (SmARtPlaS); Teilprojekt: Intelligente Dienste für vorausschauende Wartung und optimierten Betrieb peripherer Anlagentechnik im Galvanikprozess	
Projektleiter/ Projektleiterin: Dirk Serfling	Tel.: +49 0721 94361-0 E- Mail: serfling@softec.de
Laufzeit des Vorhabens von: 01.10.2019	bis: 31.03.2023

Teil II: Eingehende Darstellung

1. Ausführliche Darstellung durchgeföhrter Arbeiten (im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)

Augmented Reality (AR) hat das Potential, den Nutzern ein erweitertes Verständnis ihrer physischen Umwelt zu vermitteln, indem digitale Inhalte nahtlos in die reale Welt integriert werden.

Augmented Reality (AR) ermöglicht die Verschmelzung der realen mit der virtuellen Welt. Im industriellen Kontext von SmARtPlaS können Informationen, die in einem IT-System hinterlegt sind, dem Menschen auf intuitive Weise zugänglich gemacht werden. Dies erweitert unsere Wahrnehmung, da AR uns bisher verborgene Daten in einer dem Menschen vertrauten Form präsentiert, wodurch die Nutzungs-hürden erheblich reduziert werden.

Erste Implementierungen haben deutlich gemacht, dass es machbar ist, Informationen oder Anzeigetafeln in die reale Welt zu integrieren. Gleichzeitig wurde schnell klar, welche impliziten Anforderungen erfüllt sein müssen, damit sich der Nutzer rundum wohlfühlt und das Dargestellte als natürlich wahrnimmt. Ein Beispiel hierfür ist die Erwartung, dass reale Objekte virtuelle Elemente je nach Betrachtungswinkel überlagern können. Betritt man beispielsweise einen Raum mit einem Poster und bewegt sich darin, erwartet man, dass andere Gegenstände das Poster je nach Standort teilweise oder ganz verdecken. Das Gleiche gilt für die erweiterte AR-Welt.

Um solche Szenarien in der AR darstellen zu können, muss man in der Lage sein, Objekte so zu definieren, dass sie aus verschiedenen Perspektiven andere Objekte verdecken können. Wenn beispielsweise virtuelle Informationstafeln in einem Raum angezeigt werden, erwartet der Nutzer, dass diese nicht mehr sichtbar sind, sobald er den Raum durch eine Tür verlässt.

Ein zentrales Merkmal einer effizienten Augmented Reality (AR) Software ist ihre einfache und intuitive Bedienung. Deshalb wurde während der Entwicklung besonderer Wert auf Methoden zur Erstellung und Bewegung innerhalb der AR-Umgebung gelegt.

4.1 Konzeption von Augmented-Reality-Lösungen für individualisierte Mitarbeiterführung bei Instandhaltung und Produktion

4.2 Entwicklung einer einheitlichen Schnittstelle

4.2.1 Erfassung der Anforderungen

4.2.2 Entwicklung des Rahmenwerks

4.2.3 Umsetzung des REST-Frameworks

4.2.4 Implementierung der REST-Schnittstellen

M2 Systementwicklung ist abgeschlossen

4.3 Entwicklung von Applikationssoftware-Modulen ('Apps') für Augmented Reality Dienste für individualisierte Mitarbeiterführung bei Instandhaltung und Produktion

4.3.1 Erfassung der Anforderungen

4.3.2 Entwicklung eines methodischen Ansatzes

4.3.3 Technische Umsetzung Geschäftsmodell-Anforderungen

4.3.4 Technische Umsetzung Applikations-Backend

4.3.5 Frontend Entwicklung der AR-Anwendung

4.3.6 Integration der Applikationssoftware-Module

M3 Applikationsentwicklung abgeschlossen

4.4 Prototypische Umsetzung und Validierung der Applikationssoftware in industrieller Umgebung im Galvanikbetrieb

4.4.1 Aufbau einer Testumgebung

4.4.2 Implementierung der softwaretechnischen Umsetzung

4.4.3 Prototypische AR Applikation für den Elektrolyten zur Unterstützung des Smart Services

4.4.4 Prototypische AR Applikation für die Peripherie zur Unterstützung des Smart Services

M4 Projektabschluss Die Zielkriterien der entwickelten Prototypen sind validiert.

Allgemeine technikphilosophische Betrachtung (AP 4.1)

Die erweiterte Realität ist auch gleichzeitig eine Erweiterung der Sinne. Eine technische Aufrüstung des Menschen, ein Enhancement seiner Lebensfunktionen. Das Smartphone hat einen festen Platz in unserem Leben. Ist es nicht dabei, stellt sich schnell eine Unruhe ein. Die Allgegenwart des Smartphones ist damit ein wichtiger Punkt, der für AR-App auf dem Telefon spricht. Die nächste Stufe sind Datenbrillen. Noch sind diese Brillen zu groß, zu schwer und zu energiehungrig, als dass man sie den ganzen Tag - wie selbstverständlich - nutzen möchte. Es ist jedoch nur eine Frage der Zeit, bis diese Gadgets völlig unauffällig sind, dann ist es nur noch ein kleiner Schritt zum zukünftigen Neurochip-Implantat.

Eine Erweiterung der Sinne setzt jedoch nicht zwangsläufig einen Cyborg (*cybernetic organism*) voraus, wie er in fiktionalen Zukunftswelten häufig anzutreffen ist, sie funktioniert auch in der analogen Welt. Betrachten wir das klassische Ballett. Das Tutu, das klassische Ballettkostüm in Form eines Rocks aus vielen Schichten Tüll. Eine seiner Funktionen ist eine induzierte Sinneswahrnehmung. Die Tänzerinnen können nicht weiter aufeinander zugehen, als es die Abstandsfunktion des Kleides lässt.

Der Begriff von der Erweiterung der Sinne legt nahe, dass diese Aufwertung als natürlich empfunden wird. Wenn die Sinne mehr können und ein sinnvolles Mehr an Informationen liefern, dann wird dieser Mehrwert auch schnell antizipiert.

Am Anfang des Artikels stand das Spiel Pokemon Go als bekannte AR-Anwendung. Doch dieses Spiel ist nicht das einzige Beispiel für AR-Anwendungen, denen man in vielen anderen Bereichen des täglichen Lebens begegnet, zum Beispiel

- Head-up Display im Auto
- Formel 1 (technische Daten)
- Fußball (Spielanalyse)

Die menschlichen Sinne werden durch technische Gadgets erweitert.

Die Betrachtung von AR mit einem gewissen Fortschrittoptimismus, einer (dem Vertrauen auf eine?) fortschrittliche Bereicherung des Bekannten durch Innovation und Kreativität erschließt Möglichkeiten, die vielleicht schon gedacht (Dürrenmatt), aber bisher nicht realisierbar waren.

Satz von Dürrenmatt: „Was einmal gedacht wurde, kann nicht mehr zurückgenommen werden.“

Diese kurze Ausführung soll verdeutlichen helfen, dass Technik nicht nur simpel zweck- und mittelgeleitet ist, sondern durch ihren plastischen Tiefenblick und das räumliche Denkvermögen komplexe Zusammenhänge erfassen können muss, die sowohl auf das Innere als auch das Äußeren von Maschinen und Systemen ausgerichtet sind und wesensmäßig vermeintlich nichttechnische Bereiche wie die Ästhetik teils oder ganz umschließt oder weit bis in die Ethik reicht. (Miriam Ommeln, Was ist oder soll der Gegenstandsbereich von Technikphilosophie überhaupt sein? https://www.philosophie.kit.edu/downloads/Ommeln_Gegenstand_Technikphilosophie.pdf)

AR-Connector (AP 4.3)

Für eine effiziente und effektive Implementierung von Augmented Reality (AR) Anwendungen in industriellen Umgebungen ist die nahtlose Integration und Interaktion mit den zugrunde liegenden Steuerungssystemen von zentraler Bedeutung. Diese Integration stellt sicher, dass die in der AR-Umgebung visualisierten Daten sowohl korrekt als auch aktuell sind, wodurch die Zuverlässigkeit und Nützlichkeit der Anwendung gewährleistet wird.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein spezialisierter "AR-Connector" entwickelt und implementiert. Dieser dient als Schnittstelle zwischen der AR-App und den verschiedenen Steuerungssystemen, wobei er in Echtzeit Daten abruft und an die App weiterleitet.

Die Relevanz der Aktualität dieser Daten kann nicht hoch genug eingeschätzt werden, insbesondere in dynamischen industriellen Umgebungen, in denen Veränderungen in kurzen Zeitintervallen auftreten können. Ein verzögerter oder inkorrekt visualisierter Datenfluss könnte in solchen Kontexten zu ineffizienten Entscheidungsprozessen oder sogar zu potenziell gefährlichen Situationen führen.

Die Implementierung des AR-Connectors stellt somit einen entscheidenden Fortschritt dar. Er ermöglicht es, Daten in Echtzeit und mit hoher Präzision zu visualisieren, wodurch die Sicherheit, Effizienz

und Effektivität der AR-App signifikant erhöht wird. Zukünftige Entwicklungsarbeiten könnten sich darauf konzentrieren, die Kompatibilität und Flexibilität des AR-Connectors weiter auszubauen, um eine noch breitere Palette von Steuerungssystemen zu integrieren und somit die universelle Anwendbarkeit der AR-App zu gewährleisten.

Um in einer Augmented Reality App Daten zu visualisieren, besonders jene, die von den Steuerungen industrieller Anlagen und Maschinen bereitgestellt werden, sind zwei Hauptaspekte zu berücksichtigen: die Datenübertragung und die Datenpräsentation.

Datenübertragung (AP 4.2)

Schnittstellen-Definition

Es muss klar definiert werden, welche Schnittstellen sowohl für den Export als auch den strukturierten Import von Daten aus Steuerungssystemen geeignet sind.

Industriestandard

Bei der Auswahl der Schnittstellen ist es essentiell, auf einen etablierten Industriestandard zu setzen. Dies gewährleistet eine weite Akzeptanz und erleichtert die Integration.

Entwicklung der Schnittstellen

Da die AR-App auf Daten aus anderen Systemen angewiesen ist, die sie anzeigen soll, war die Auswahl einer geeigneten Schnittstelle für die Kommunikation mit diesen Systemen entscheidend. Dabei waren die weite Verbreitung des jeweiligen Standards sowie die Verwendung eines etablierten Standards - statt der Entwicklung einer eigenen Schnittstelle - von zentraler Bedeutung. Nach eingehender Recherche kristallisierten sich REST und MQTT als mögliche Optionen heraus.

Schnittstellen

Schnittstellen (oft auch als "Interfaces" bezeichnet) sind definierte Berührungspunkte zwischen zwei Systemen, über die diese Systeme miteinander kommunizieren und Daten austauschen können. Sie definieren, welche Informationen in welchem Format und nach welchen Protokollen übertragen werden können. Schnittstellen sind entscheidend für die Integration und Interaktion zwischen verschiedenen Software-Anwendungen, Hardware-Geräten oder auch zwischen Menschen und Technik.

REST (Representational State Transfer):

REST ist ein Architekturstil für verteilte Systeme, der häufig für Webdienste verwendet wird. Er nutzt den standardisierten HTTP-Protokollmechanismus und ist daher einfach zu verwenden und zu implementieren.

Vorteile von REST:

- **Standardisiert:**
REST nutzt das HTTP-Protokoll, was eine breite Akzeptanz und Unterstützung gewährleistet.
- **Zustandslos:**
Jede Anfrage von einem Client an einen Server enthält alle Informationen, die der Server benötigt, um die Anfrage zu verstehen und zu beantworten. Das macht REST-Dienste einfach und skalierbar.
- **Plattformunabhängig:**
Clients und Server können in unterschiedlichen Technologien implementiert sein, solange beide HTTP sprechen.
- **Leicht verständlich:**
Durch den Gebrauch von HTTP-Methoden (GET, POST, PUT, DELETE) sind REST-APIs intuitiv und leicht zu verstehen.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):

MQTT ist ein leichtgewichtiges Messaging-Protokoll, das speziell für geringe Bandbreite und unsichere Netzwerke wie z. B. bei IoT-Anwendungen (Internet of Things) entwickelt wurde.

Vorteile von MQTT:

- **Leichtgewichtig:**
MQTT wurde für Situationen mit geringer Bandbreite und unzuverlässigen Verbindungen entwickelt.
- **Publish/Subscribe-Modell:**
Dies ermöglicht es Geräten, Daten zu "publishen" (veröffentlichen), während andere Geräte "subscribe" (abonnieren) können, um Updates zu erhalten.
- **Quality of Service Levels:**
MQTT unterstützt unterschiedliche Qualitätsstufen für die Nachrichtenzustellung, von "maximal einmal" bis "genau einmal".
- **Last Will und Testament:**
Ein Feature, bei dem ein vorgegebenes Nachrichtenupdate gesendet wird, falls ein Gerät die Verbindung verliert. Das hilft dabei, den Status von Geräten im Netzwerk zu überwachen.
- **Sicherheit:**
Obwohl MQTT in seiner Grundform nicht viele Sicherheitsfeatures hat, kann es mit SSL/TLS kombiniert werden, um eine sichere Kommunikation zu gewährleisten.

Zusammenfassung

Während REST insbesondere in Webanwendungen und -diensten weit verbreitet ist und sich durch seine Einfachheit und Standardisierung auszeichnet, bietet MQTT spezialisierte Vorteile für IoT-Umgebungen und andere Anwendungen, bei denen Bandbreite, Netzwerkuverlässigkeit und Echtzeitkommunikation kritisch sind. Beide Protokolle haben ihre eigenen Stärken, je nach Anwendungsfall.

Nach Rücksprache mit verschiedenen Unternehmen, die Steuerungssysteme für industrielle Anlagen produzieren, hat sich MQTT als bevorzugte Schnittstelle etabliert. Dies liegt insbesondere daran, dass es sich unkompliziert und mit minimalem Aufwand in andere Softwarelösungen integrieren lässt.

Datenpräsentation auf Datentafeln (AP 4.1)

Datenplatzierung

Die Daten müssen geordnet und gut sichtbar auf den Datentafeln platziert werden.

Labels und Kennzeichnungen

Jeder Datenwert sollte deutlich mit einem entsprechenden Label gekennzeichnet sein.

Farbliche Hervorhebung

Daten können farblich dargestellt werden, um Unterschiede oder Zustände hervorzuheben.

Toleranzgrenzen

Für jeden Datenwert sollten Toleranzgrenzen definiert werden. Werte, die diese Grenzen überschreiten, benötigen eine besondere Kennzeichnung.

Ampelsystem für Daten

Werte, die außerhalb festgelegter Toleranz- oder Eingriffsgrenzen liegen, sollten mittels eines Ampelsystems farblich gekennzeichnet werden (z. B. Grün für normal, Gelb für Warnung, Rot für kritisch).

Standardisierte Darstellung

Bei der Darstellung der Daten sollte ebenfalls auf Standards zurückgegriffen werden. Das ermöglicht es auch Mitarbeitern des Steuerungsherstellers, nach kurzer Einarbeitung die Datenbeschreibungen effizient zu bearbeiten.



Aufbereitung der Daten für die Darstellung

Smart Factory Interface (SFI): Ein Framework für die strukturierte Anzeige in der Industrie 4.0

In der Ära von Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge (IoT) wird die Vernetzung von Komponenten immer essenzieller. Dabei gilt es, den Menschen zielgerichtet zu informieren, ohne sie mit Informationen zu überfluten. Das Smart Factory Interface (SFI) dient genau diesem Zweck.

Datenaufbereitung

Bevor Daten sinnvoll visualisiert werden können, müssen sie auf einer zentralen Plattform bereitgestellt und für die Anzeige vorbereitet werden. Dies beinhaltet insbesondere die Auswahl relevanter Objekte und die Definition der Inhalte von Datentafeln.

Das Smart Factory Interface (AP 4.2)

Das von uns entwickelte SFI bietet ein strukturiertes Framework, um Daten und Informationen geordnet, kategorisiert und formatiert darzustellen. Es dient nicht nur als Instrument für Augmented Reality (AR), sondern ist flexibel genug, um als Grundlage für verschiedene Anzeigetechnologien wie Leitstände in der Produktion zu fungieren. Dieses Interface gewährleistet eine konsistente und klare Darstellung von Daten in heterogenen IT-Umgebungen.

Elemente des SFI

Das SFI enthält verschiedene Elemente zur Datendarstellung:

- Überschrift
- Beschreibung
- Einheiten
- Bilder
- Schaltflächen
- Toleranzgrenzen
- Farben
- JSON (als Kern für Konfiguration, Definition und Formatierung)

Die JSON-Struktur ist eine Konfigurationsdatei für jede Art von Dashboard oder Benutzeroberfläche - nicht nur für die Augmented Reality Anwendung, die Daten von verschiedenen MQTT-Brokern und deren zugehörigen Datenpunkten (Topics) anzeigt. Die JSON-Datei ist in verschiedene Abschnitte unterteilt:

- **header**
Dieser Abschnitt enthält allgemeine Informationen über die Konfiguration:
 - `config-id`: Die ID der Konfiguration.
 - `config-name`: Der Name der Konfiguration.
 - `config-creation-date`: Das Erstellungsdatum der Konfiguration.
- **broker-data**
Eine Liste von MQTT-Brokern. Jeder Broker hat:
 - `\$id`: Eindeutige ID des Brokers.
 - `adress`: URL oder IP-Adresse des Brokers.
 - `port`: Port des Brokers.
 - `username`: Benutzername für den Broker.
 - `password`: Passwort für den Broker.
 - `api-key`: Möglicherweise ein Schlüssel für eine API, die der Broker verwendet.

- **data-entries**

Eine Liste von Datenpunkten, die von den Brokern überwacht werden sollen. Jeder Datenpunkt hat:

- `id`: Eindeutige ID des Datenpunkts.
- `title`: Anzeigetitel für den Datenpunkt.
- `content`: Weitere Information über den Datenpunkt.
- `broker`: Verweist auf den Broker, von dem der Datenpunkt stammt.
- `data-formatting-style`: Der Formatierungsstil für die Anzeige des Datenpunkts.
- und viele andere konfigurierbare Eigenschaften...

- **BasicString**

- offline-content: Der zu zeigende Text, wenn der angegebene MQTT-Broker keine Daten sendet.
- data-formatting-style: Der Typ der Darstellung; in diesem Fall ein einfacher String.
- data-formatting-config: Enthält Einstellungen für die Formatierung der Darstellung.
- text-color: Die Farbe des Textes.
- pre-suffix-config: Einstellungen für Präfixe und Suffixe.
- prefix: Ein Text, der vor dem eigentlichen Inhalt angezeigt wird.
- suffix: Ein Text, der nach dem eigentlichen Inhalt angezeigt wird.

- **NumericalValue**

- data-formatting-style: Der Typ der Darstellung; in diesem Fall ein -numerischer Wert.
- numerical-value-config: Enthält spezifische Einstellungen für numerische Werte.
- max-decimals-places: Die maximale Anzahl an Dezimalstellen, die angezeigt werden sollen.
- limit-config: Enthält Obergrenzen und Untergrenzen für den Wert.
- upper-limits und lower-limits: Enthält spezifische Grenzwerte.
- upper-limit-colors und lower-limit-colors: Farben, die angezeigt werden sollen, wenn der Wert einen bestimmten Grenzwert erreicht.

- **Button**

- data-formatting-style: Der Typ der Darstellung; in diesem Fall eine Schaltfläche.
- button-config: Einstellungen für die Schaltflächendarstellung.
- button-type: Der Typ der Schaltfläche. Zum Beispiel kann es sich um einen Link oder einen MQTT-Push handeln.
- link-to-open: URL, die geöffnet werden soll, wenn der Button vom Typ "Link" angeklickt wird.
- button-color: Die Farbe der Schaltfläche.

- **Image**

- data-formatting-style: Der Typ der Darstellung; in diesem Fall ein Bild.
- data-formatting-config:
 - image-config: Einstellungen für die Bildanzeige.
 - always-refresh: Ein Boolescher Wert, der angibt, ob das Bild ständig aktualisiert werden soll.
 - aspect-ratio: Das Seitenverhältnis des Bildes.
 - refresh-timer: Zeitintervall in Sekunden für das Aktualisieren des Bildes.

- **Spacer:**

- data-formatting-style: Der Typ der Darstellung; in diesem Fall ein Abstandhalter.
- data-formatting-config:
 - spacer-config: Einstellungen für den Abstandhalter.
 - spacer-height: Höhe des Abstandhalters.
 - show-spacer-line: Ein Boolescher Wert, der angibt, ob eine Linie im Abstandhalter gezeigt werden soll.

- **data-sheets**
Eine Liste von Datenblättern, die mehrere Datenpunkte enthalten können. Jedes Datenblatt hat:
 - `sheet-id`: ID des Datenblatts.
 - `title`: Titel des Datenblatts.
 - `data-entries`: Eine Liste von Verweisen auf Datenpunkte, die in diesem Datenblatt enthalten sind.
- **zu beachten:**
 - Das `'\$ref` -Feld in den "data-entries" und "data-sheets" Abschnitten scheint ein Verweis auf eine andere ID im JSON zu sein. Das ermöglicht es, wiederverwendbare Einträge zu haben und sie in verschiedenen Teilen der Konfiguration zu referenzieren.

Insgesamt gibt diese JSON-Datei an, wie Daten von verschiedenen MQTT-Topics geholt und angezeigt werden sollen. Jeder Dateneintrag legt fest, wie die Daten formatiert und präsentiert werden, basierend auf den oben beschriebenen Einstellungen.

Anwendungsbereiche des SFI

Das SFI kann überall dort eingesetzt werden, wo eine Vielzahl von komplexen Daten strukturiert angezeigt werden muss. Dies gilt insbesondere in Umgebungen, in denen Informationen aus verschiedenen Quellen zusammenfließen und auf konsistente Weise visualisiert werden müssen.

Schlussfolgerung

Das Smart Factory Interface bietet einen umfassenden Rahmen zur Erzeugung von Datentafeln und zur Darstellung von Daten in der Industrie 4.0. Durch seine Flexibilität und Strukturiertheit gewährleistet es eine zielgerichtete und effiziente Kommunikation von Daten an den Endnutzer.

AR-Editor (AP 4.3)

Der primäre Zweck des AR-Editors besteht darin, die im Smart Factory Interface definierten virtuellen Datentafeln intuitiv und präzise in der physischen Welt zu positionieren. Er ermöglicht es den Anwendern, virtuelle Datenpunkte im Raum zu verankern, sodass an diesen Ankern Datentafeln aufgehängt werden können, die, wenn durch die AR-Anwendung betrachtet, in kohärenter und logischer Weise in Bezug auf die physische Umgebung erscheinen.

Ein besonderes Merkmal dieses Editors ist seine Fähigkeit, verdeckende physische Objekte virtuell zu konstruieren und "einzuhauen". Dadurch ist es möglich Verdeckungen zu erzeugen. Dieser Prozess erhöht nicht nur die visuelle Klarheit, sondern schafft auch ein immersives und realitätsnahes Erlebnis für den Nutzer. Es vermeidet das Problem der Überlappung von physischen und virtuellen Objekten und sorgt so für eine klare und ununterbrochene Sicht auf die relevanten Daten.

Dieser Mechanismus des "Verdeckens" ist von entscheidender Bedeutung, um ein kohärentes und realitätsgetreues AR-Erlebnis zu gewährleisten. In einem industriellen Kontext, wo Genauigkeit und Klarheit von größter Bedeutung sind, kann die Fähigkeit, störende physische Elemente effektiv "auszublenden", nicht nur zur Operationalität, sondern auch zur Sicherheit beitragen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der AR-Editor als essenzielles Werkzeug für die nahtlose Integration von digitalen und physischen Systemen dient.

Erstellungsmethoden (AP 4.1)

Ein zentrales Element in diesem Kontext sind die sogenannten Ankerpunkte. Ein Ankerpunkt ist ein definierter virtueller Punkt im Raum. Ein Objekt kann aus mehreren solcher Ankerpunkte zusammengesetzt werden. Beispielsweise kann ein Quader mit drei Ankerpunkten definiert werden.

Für die Platzierung und gegebenenfalls das Verschieben von Objekten in der AR-Umgebung wurden verschiedene Methoden zur Erstellung von Ankern entwickelt:

1. Anker mittels Kamera erstellen
2. Anker an einer Oberfläche erstellen
3. Anker am Schnittpunkt definieren
4. Anker im Raum vor der Kamera positionieren

Ein zentrales Kriterium bei der Erstellung ist die Genauigkeit: Wie präzise kann ein Anker am gewünschten Ort platziert werden? Und wie viel Zeit benötigt der Anwender, um diese Aufgabe zu erledigen?

Bewegungsmethoden



Nachdem ein Ankerpunkt definiert wurde, kann es erforderlich sein, diesen innerhalb des Raums zu verschieben, um ihn optimal zu positionieren. Hierfür wurden verschiedene Bewegungsmethoden entwickelt:

1. Den Anker mithilfe der Kamera bewegen
2. Den Anker mit einem Finger verschieben
3. Den Anker mittels eines Gizmos bewegen
4. Den Anker in Bezug zur Kamera verschieben

In der Augmented Reality (AR) und auch in der 3D-Modellierung bezeichnet der Begriff "Gizmo" ein grafisches Werkzeug, das in der Benutzeroberfläche angezeigt wird, um Interaktionen wie Bewegung, Drehung oder Skalierung von Objekten zu erleichtern. Ein Gizmo stellt typischerweise eine Reihe von Achsen, Griffen oder anderen visuellen Elementen dar, mit denen Benutzer direkt interagieren können, um das ausgewählte Objekt oder die ausgewählte Gruppe von Objekten auf bestimmte Weise zu transformieren.

Ein Beispiel für einen Gizmo in AR könnte ein 3D-Pfeilsystem sein, das um ein ausgewähltes Objekt angezeigt wird. Benutzer können dann verschiedene Pfeile ziehen, um das Objekt entlang der X-, Y- oder Z-Achse zu bewegen.

Diese Gizmos sind besonders nützlich in AR-Anwendungen, da sie eine intuitive Schnittstelle bieten, mit der Benutzer physische Bewegungen mit virtuellen Objekttransformationen verknüpfen können.

Auch hier standen Einfachheit, Schnelligkeit und Präzision im Fokus der Bewertung, um sicherzustellen, dass die Anwender die gewünschten Aufgaben effizient ausführen können.

Ergebnisse

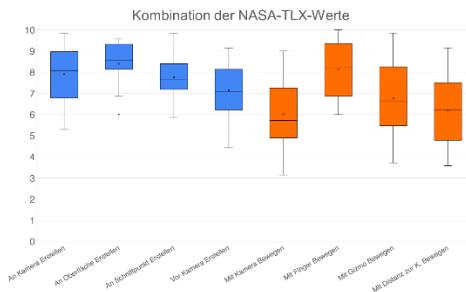
Um zu evaluieren, wie einfach oder herausfordernd verschiedene Methoden des Platzierens oder Verschiebens für den Benutzer waren, führten wir Untersuchungen durch. Dabei wurde auch die Präzision bewertet, die die Benutzer mit den jeweiligen Methoden erreichen konnten.

NASA-TLX-Test

Der NASA-TLX-Test ist ein etablierter Fragebogen, der zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit einer Interaktion eingesetzt wird. Dieser Test erfasst verschiedene Dimensionen der Nutzererfahrung, darunter geistige und körperliche Anforderungen, feinmotorische Fähigkeiten, Zufriedenheit mit der eigenen Leistung, aufgewendete Anstrengung, Frustrationsniveau und die Herausforderung beim Erlernen.

Unsere Analyse kombiniert alle erfassten Dimensionen und stimmt größtenteils mit der zusätzlichen Gesamtbewertung der verwendeten Methoden überein (wobei ein höherer Wert besser ist). Bei den Erstellungsmethoden erzielte die Methode „An der Oberfläche erstellen“ die besten Ergebnisse, während die Methode „Vor der Kamera erstellen“ die niedrigsten Werte erhielt. In Bezug auf die Bewegungsmethoden stach die Methode „Mit dem Finger bewegen“ positiv hervor.

Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass die gestellte Aufgabe generell formuliert war, weshalb die spezifischen Stärken der einzelnen Methoden möglicherweise nicht vollständig zum Vorschein kamen.

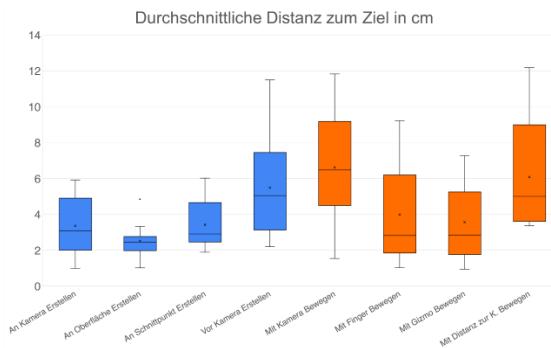


Durchschnittlicher Abstand zum Ziel in cm

Während unserer Nutzerstudie haben wir verschiedene Messwerte direkt auf dem Gerät erfasst. Ein besonders relevanter Messwert betrifft die Präzision der verschiedenen Methoden. Hierbei geht es darum, wie nah der erstellte oder bewegte Ankerpunkt am vorgegebenen digitalen Ziel positioniert wurde. Obwohl Trackingfehler unvermeidlich sind und die erfassten Werte nicht direkt die tatsächliche Präzision widerspiegeln, geben sie dennoch eine zuverlässige Tendenz wieder.

Bei den Methoden zur Erstellung war die „An der Oberfläche erstellen“-Methode bei den meisten Nutzern am präzisesten, während einige mit der „Vor der Kamera erstellen“-Methode Schwierigkeiten hatten.

Bei den Bewegungsmethoden lagen die „Mit dem Finger bewegen“ und „Mit Gizmo bewegen“-Methoden nahezu gleichauf. Beide waren deutlich präziser als die anderen getesteten Methoden.

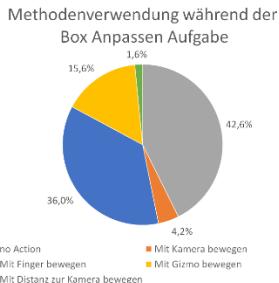


Methodeneinsatz bei der Box-Anpassungsaufgabe

Die finale Aufgabe für die Testpersonen bestand darin, die Ankerpunkte einer digitalen Box so zu verschieben, dass sie genau auf den Ecken eines realen Würfels positioniert waren. Dies sollte die Übereinstimmung zwischen dem digitalen Modell und dem realen Gegenstand erhöhen. Dabei hatten die Testpersonen Zugriff auf alle vier zuvor getesteten Bewegungsmethoden.

Interessanterweise verwendeten die Testpersonen rund 42% der gesamten Bearbeitungszeit nicht aktiv für eine der Methoden. Stattdessen planten sie ihre nächsten Aktionen oder überprüften die bisher vorgenommenen Anpassungen.

Rund 36% der Zeit nutzten die Teilnehmer die „Mit dem Finger bewegen“-Methode, während etwa 15% der Zeit für die „Mit Gizmo bewegen“-Methode aufgewendet wurde. Diese Zahlen deuten darauf hin, dass diese beiden Methoden bei den Testpersonen besonders gut ankamen und als am effektivsten betrachtet wurden. Angesichts der gesamten Testergebnisse kann man davon ausgehen, dass die verbleibenden Methoden nicht in kürzerer Zeit zu überzeugenden Ergebnissen geführt haben, sondern schlichtweg weniger bevorzugt wurden.



Die Ergebnisse aus dem Nutzer Test sind in die Entwicklung der Benutzeroberfläche der AR-App eingeflossen. In der App wurden zwei Modi implementiert.

- Der AR-Editor, der dazu dient interaktiv virtuelle Objekte im Raum schnell und einfach zu platzieren.
- Der AR-Viewer, für das tägliche Arbeiten mit einer sehr natürlichen und vertrauten erweiterten Sicht.

Anker

Der AR-Editor erlaubt es Anker in der Physischen Welt zu positionieren. An diesen Ankern kann dann jeweils eine Datentafel aufgehängt werden.

Ein "Anchor" in AR-Systemen wie ARCore und ARFoundation spielt eine entscheidende Rolle, um digitale Inhalte konsistent und zuverlässig in der physischen Welt zu positionieren.

Ein Anchor wird an einer spezifischen Position in der Welt erstellt und wird von ARCore überwacht, um sicherzustellen, dass der digitale Inhalt, der an diesen Anchor gebunden ist, korrekt in der physischen Welt platziert bleibt, selbst wenn sich die Kamera bewegt oder die Szene neu bewertet wird.

Durch die Verwendung von Anchors können Entwickler sicherstellen, dass AR-Inhalte stabil in der Welt verankert bleiben, trotz möglicher Ungenauigkeiten oder Schwankungen in den Daten der Tiefenkamera oder Bewegungssensoren.

Fazit:

Ein ermöglicht "Anchor" die präzise Positionierung von AR-Inhalten in der physischen Welt. Es stellt sicher, dass, selbst wenn sich die Kamera oder der Benutzer bewegt, der digitale Inhalt relativ zum realen Welt-Referenzpunkt stabil bleibt. Das Konzept des Anchors ist daher von zentraler Bedeutung für das Erstellen glaubwürdiger und überzeugender AR-Erfahrungen.

Einsatz von Barcode Markern in Augmented Reality Anwendungen

Eine der zentralen Herausforderungen in AR ist die präzise Platzierung und Verfolgung dieser digitalen Inhalte. Hierbei kommt die Nutzung von Markern ins Spiel.

Marker in AR-Systemen

Marker dienen in AR-Systemen als physische Referenzpunkte, mit deren Hilfe digitale Inhalte korrekt und stabil in der realen Welt positioniert werden können. Die AR Foundation, eine von Unity bereitgestellte Plattform für die Entwicklung von AR-Anwendungen, unterstützt verschiedene Arten von Markern, insbesondere Bildmarker und QR-Marker.

Potenzial von QR-Markern

QR-Marker bieten gegenüber traditionellen Bildmarkern den Vorteil der universellen Einsetzbarkeit. Durch ihre strukturierte und standardisierte Natur können QR-Marker auch in einem Enterprise Resource Planning (ERP)-System zur Unterstützung verschiedener Aufgaben eingesetzt werden:

- **Seriennummern:**
Die Verwendung von QR-Markern zur Darstellung von Seriennummern kann in der Produktion und im After-Sales-Service eine schnelle Identifikation und Nachverfolgung von Produkten ermöglichen.
- **Lagerverwaltung und Teilezuordnung:**
Durch die Integration von QR-Markern in die Lagerverwaltung können Teile und Produkte schnell identifiziert, geortet und verfolgt werden. Dies optimiert die Lagerhaltungsprozesse und verbessert die Effizienz.
- **Micro Learning:**
QR-Marker können auch in Lernumgebungen eingesetzt werden. Durch das Scannen eines QR-Markers können Benutzer Zugriff auf spezifische Lerninhalte oder Anleitungen erhalten, wodurch ein just-in-time Lernansatz unterstützt wird.

Rekalibrierung und Genauigkeit in AR

Ein kritischer Aspekt bei der Nutzung von AR ist die Aufrechterhaltung der Genauigkeit der digitalen Inhalte im Verhältnis zur physischen Welt. Das anfängliche Einscannen eines Markers justiert das AR-Koordinatensystem. Bei Bewegungen durch den Raum kann jedoch eine Drift des Koordinatensystems auftreten, die zu Ungenauigkeiten führt. Durch das erneute Einscannen von Markern während einer AR-Session kann das System regelmäßig rekalibriert werden. Dies ermöglicht es, kleine Verschiebungen oder Abweichungen auszugleichen und somit die Präzision der AR-Inhalte zu gewährleisten.

Modellierung / Modell

Mit den Daten, dem Smart Factory Interface SFI und dem Marker sind alle Voraussetzungen erfüllt, um ein AR-Modell einzurichten. Mit der Modell-Editor-Funktion der App werden und Punkte im Raum platziert, an denen Datentafeln angehängt werden können.

In der realen Welt ist dies vergleichbar mit der Tätigkeit, Bilder in einem Zimmer aufzuhängen. Mit Hammer und Nagel wird die Stelle ausgewählt, an der das Bild aufgehängt werden soll. Bei den virtuellen Datentafeln wird mit der App ein Punkt im Raum festgelegt, der die Funktion des Nagels übernimmt und an dem dann die Datentafel fixiert wird. Man sollte allerdings beim Aufhängen von Datentafeln auf eine Petersburger Hängung verzichten.

Der Hängung von Bildern entspricht in der AR-Welt das Fixieren von virtuellen Datentafeln. So wie Sie im Museum durch die Ausstellungsräume gehen und die Bilder an den Wänden betrachten, sehen Sie beim Blick durch das Smartphone die Datentafeln genauso natürlich, wie wenn die Informationen in einem Bilderrahmen platziert werden. (das "hinkt" noch etwas - genauso natürlich, wie sie in einer Galerie in einem Bilderrahmen platzierte Informationen sehen würden?)

Ein Unterschied ist jedoch, dass sich die Datentafeln immer dem Betrachter zuwenden.

Bei Gemälden gibt es den Effekt (optische Täuschung), dass die Augen eines Porträts dem Betrachter folgen. In der AR-Welt drehen sich die Tafeln immer dem Betrachter zu. Man kann sogar um eine Tafel herumgehen, die Tafel dreht sich mit, so dass man auch auf der vermeintlichen Rückseite alle Informationen lesen kann.

Das Einrichten der Datentafeln ist eine Angelegenheit von wenigen Minuten.

In der realen Welt können wir Bilder, die erst im nächsten Raum hängen, nicht sehen, auch wenn wir uns ihnen zuwenden (in diese Richtung schauen?), da sie von der Wand zwischen den Räumen verdeckt werden. Erst wenn wir durch die Tür laufen, erscheinen sie eines nach dem anderen.

In der AR-Welt können auch Objekte, wie Wände, Einrichtungsgegenstände oder Maschinen, die je nach Standort des Betrachters die Sicht beschränken in das Modell aufgenommen werden. Dazu werden einfache geometrische Primitive im Raum platziert, die genauso den Blick versperren wie reale Körper.

Noch realistischer wirkt die AR-Welt dadurch, dass die Datentafeln erst dann erscheinen, wenn der Betrachter auch tatsächlich um eine Wand herumgegangen ist oder einen Raum durch eine Tür betritt.

Dieses Mapping aus virtueller, digitaler, analoger und realer Welt aufeinander erzeugt für den Betrachter einen vollkommen natürlichen Eindruck. Da in diesem Realitätsmix die physikalischen Gesetze genauso wirken, wie gewohnt, wird die digitale Einblendung auch als eine Erweiterung der Realität aufgefasst.

AR-Viewer (AP 4.3)

Der AR-Viewer hat die primäre Aufgabe, dem Nutzer eine unverzerrte und klare Sicht auf die AR-Umgebung zu bieten. Nachdem alle Modellierungs- und Einstellungsarbeiten durch den AR-Connector und den AR-Editor vorgenommen wurden, tritt der AR-Viewer in Aktion. Er stellt sicher, dass dem Endbenutzer ein reibungsloses, ungestörtes und realistisches AR-Erlebnis geboten wird, welches sowohl die virtuellen Modifikationen als auch die reale physische Umgebung effizient miteinander verknüpft.

Die harmonisierte Integration der Ergebnisse aus dem AR-Connector und dem AR-Editor durch den AR-Viewer ermöglicht es dem Nutzer, eine schnörkellose Perspektive auf und zwischen der virtuellen und der realen Welt zu haben. Es wird nicht nur eine Überlappung oder Verzerrung zwischen den beiden Welten vermieden, sondern es wird auch sichergestellt, dass alle relevanten Daten und Modelle im richtigen Kontext und an der richtigen Position dargestellt werden.

Der AR-Viewer fungiert als Endpunkt des AR-Systems und stellt sicher, dass alle vorherigen Entwicklungs- und Modellierungsprozesse in einem nutzerzentrierten Format präsentiert werden. Dadurch wird das Ziel erreicht, dem Endanwender ein makelloses, interaktives und nahtloses AR-Erlebnis zu bieten, welches nicht nur die Effizienz und Produktivität steigert, sondern auch menschliche Fehler minimiert.

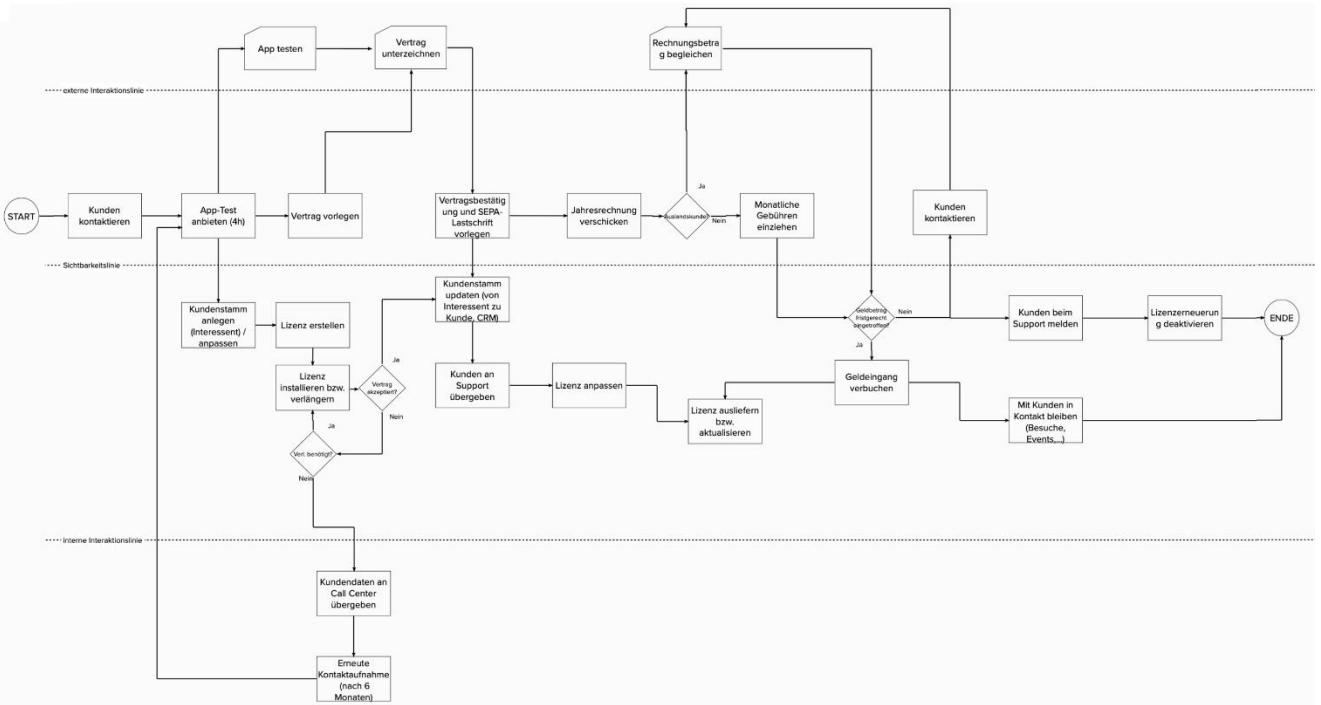
Insgesamt stellt der AR-Viewer eine kritische Schnittstelle dar, die den Nutzer in die Lage versetzt, die Vorteile von Augmented Reality in einem praktischen, alltagstauglichen Format voll auszuschöpfen.

Geschäftsmodell entwickeln (AP 4.3.3)

Traditionelle ERP-Systeme sind zentrale Knotenpunkte für Unternehmensdaten und -prozesse. Doch in der modernen Arbeitsumgebung, insbesondere in Produktionsbereichen, sind mobile Lösungen erforderlich. Hier kommen spezialisierte Erweiterungs-Apps ins Spiel, die das ERP-System ergänzen. Diese Apps ermöglichen es den Nutzern, die nicht an einem Schreibtisch sitzen, einerseits Daten direkt dort zu erfassen, wo sie entstehen und andererseits aktuelle Daten sofort vor Ort auf den mobilen Geräten angezeigt zu bekommen bzw. über Augmented Reality direkt in die reale Welt eingeblendet zu bekommen.

Da die Mitarbeiter die Apps auf ihren Smartphones mit sich herumtragen, können diese proaktiv auf die Bedürfnisse der Benutzer reagieren und Daten in Echtzeit bereitstellen können. Das bedeutet, dass sie nicht nur passive Werkzeuge zur Datenerfassung oder -anzeige sind, sondern aktiv dazu beitragen, Arbeitsprozesse zu optimieren und den Nutzern einen Mehrwert zu bieten.

Traditionelle Geschäftsmodelle von ERP-Systemen sind für moderne Anwendungen, insbesondere Apps, oft nicht passend. So stellt sich die Frage nach einem passenden Geschäftsmodell und Lizenzmodell. Welche Modelle würden von den Kunden am ehesten akzeptiert? Um dies zu klären, hat eine Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IAO stattgefunden, wobei die Vertriebsprozesse untersucht und ein geeignetes Smart-Services-Geschäftsmodell entwickelt wurden.



Kernziele des neuen Geschäftsmodells

Niedrige Einstiegshürde

Im Vergleich zu herkömmlichen Modellen, bei denen Software direkt erworben wird, sollen hier anfängliche Kosten niedrig gehalten werden. Dies umfasst vorrangig Kosten für Installation, Konfiguration und Schulung. Der Kunde entscheidet sich leichter mit den Apps einen experimentellen Ansatz zu gehen und zu prüfen, ob die Akzeptanz bei den Mitarbeitern so wie erwartet ist.

Geringer Preis

Der finanzielle Aspekt wird durch monatliche Gebühren entschärft. Hierdurch müssen Kunden nicht direkt zu den Entwicklungskosten der Apps beitragen. Dieses Abonnementmodell bietet den Kunden Flexibilität und minimiert gleichzeitig ihr finanzielles Risiko.

Die Berechnung dieser Gebühr erfolgt auf Basis der Firmengröße, Mitarbeiteranzahl und Nutzungsfunktionen. Bei speziellen Anwendungen, wie der AR-App, werden Pakete basierend auf der Datenmenge angeboten.

Leichter Start

Eine geringe Einstiegshürde und kosteneffiziente Modelle fördern die schnelle Entscheidung zur Implementierung und Akzeptanz von neuen Apps. Es erleichtert auch das Onboarding neuer Nutzer.

Zudem müssen sich die Unternehmen sich weniger Gedanken über die Nutzeranzahl machen, da nicht eine Anzahl von Arbeitsplätzen oder Nutzer lizenziert wird, sondern nur die einzelne App wird lizenziert. Da durch können sehr einfach bei Bedarf mehr Nutzer freigeschalten werden. Das Ziel ist eine umfassende Nutzung und Verbreitung der Apps innerhalb des Unternehmens.

Umsatzwachstumsmöglichkeiten

Das Hinzufügen weiterer Apps ist ohne großen Aufwand möglich. Bei intensiver Nutzung, z.B. der AR-App, ist zu erwarten, dass Kunden mit der Zeit mehr Features und Daten integrieren möchten, was wiederum zu erhöhten monatlichen Kosten führt.

Insgesamt stellt dieses Modell einen innovativen Ansatz für die Monetarisierung von App-basierten ERP-Systemen dar, der sowohl den Anforderungen der Kunden als auch den Zielen des Softwareherstellers gerecht wird.

Das überarbeitete Geschäftsmodell betont somit nicht nur die Vorteile mobiler Erweiterungs-Apps für ERP-Systeme, sondern auch den Mehrwert, den Smart Services in einem produktionsorientierten Umfeld bieten. Es handelt sich um eine zukunftsweisende Strategie, die den sich ständig ändernden Anforderungen moderner Produktionsumgebungen gerecht wird.

2. Erzielte Ergebnisse

Mit der zunehmenden Digitalisierung in industriellen Sektoren hat Augmented Reality (AR) an Bedeutung gewonnen, um betriebliche Abläufe zu verbessern und das Nutzererlebnis zu optimieren. In diesem Kontext wurde eine spezialisierte AR-App entwickelt und ein zugehöriges Geschäftsmodell ausgearbeitet.

AR-App: Kernmerkmale und Funktionalitäten

- Integration und Anwendbarkeit:
Die AR-App wurde mit der MQTT-Schnittstelle und dem Smart Factory Interface entwickelt, um eine einfache Integration und Anwendbarkeit in unterschiedlichen industriellen Umgebungen zu gewährleisten.
- Praktische Tests: (AP 4.4)
Erfolgreiche Installationen und Testläufe wurden bei Fraunhofer in der Lerngalvanik mit einer Ditec Steuerung sowie bei Enayati mit einem Lufwässcher von Airtec durchgeführt. Diese Anwendungen demonstrierten die Robustheit und Effizienz der App in realen Einsatzszenarien.
- Nutzererfahrung:
Der AR-Viewer der App kombiniert die realen und virtuellen Datenflüsse, um den Nutzern ein immersives und ungestörtes Erlebnis zu bieten.

Geschäftsmodell: Schlüsselstrategien und Vorteile

- Zusammenarbeit mit Fraunhofer IAO:
Ein innovatives Geschäftsmodell wurde in Zusammenarbeit mit Fraunhofer IAO entwickelt und erprobt. Es konzentriert sich auf die Bereitstellung von AR-Diensten und -Lösungen für industrielle Partner, wobei die Technologie und die Anwendungsfälle auf die spezifischen Bedürfnisse der Kunden zugeschnitten sind.
- Marktpositionierung:
Das Geschäftsmodell zielt darauf ab, die AR-App als marktführendes AR-Tool für industrielle Anwendungen zu positionieren, wobei die USPs wie Echtzeitdatenintegration, Benutzerfreundlichkeit und Skalierbarkeit betont werden.
- Erweiterung und Integration:
Für den langfristigen Erfolg der AR-App und ihres Geschäftsmodells ist es von entscheidender Bedeutung, weitere industrielle Steuerungshersteller zu überzeugen, eine MQTT-Schnittstelle in ihre bestehenden Systeme zu integrieren.

Die entwickelte AR-App und das zugehörige Geschäftsmodell repräsentieren einen bedeutenden Fortschritt in der Anwendung von Augmented Reality im industriellen Sektor. Die erfolgreichen Installationen und Partnerschaften legen nahe, dass die AR-App das Potenzial hat, eine Schlüsseltechnologie in einer Vielzahl von industriellen Anwendungen zu werden. Das dazugehörige Geschäftsmodell bietet eine solide Grundlage für die zukünftige Expansion und Skalierung.

3. Verwendung der Zuwendung

Im aktuellen Projekt verlief alles soweit nach Plan, es gab keine Verschiebungen bei den finanziellen Mitteln und die Vorkalkulation wurde eingehalten. Trotz einer Änderung in der Entwicklung der AP-App, bei der wir von ARCore zu ARFoundation wechselten, konnten die dadurch entstandenen Aufwände durch die Nutzung der besser geeigneten Bibliothek ARFoundation ausgeglichen werden. Darüber hinaus führte der Wechsel von der ursprünglich geplanten REST-Schnittstelle zu MQTT nicht zu zusätzlichen Aufwand.

Die Änderungen im Entwicklungsprozess hatten keine negativen Auswirkungen auf die geplanten Ressourcen.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Notwendigkeit der Projektarbeiten

- Optimierung der Benutzererfahrung:
Eine Nutzerstudie zur Bedienbarkeit war unerlässlich, um die tatsächlichen Anforderungen und Vorlieben der Endbenutzer zu verstehen. In einem Markt, in dem die Benutzerfreundlichkeit einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil darstellen kann, war diese Studie notwendig, um sicherzustellen, dass die App den Bedürfnissen der Nutzer entspricht.
- Integration mit Partner-Software:
Angesichts der Schwierigkeit, Partner dazu zu bewegen, Schnittstellen in ihrer Software zu implementieren, war es notwendig, eine Strategie zu entwickeln, die auf ihre spezifischen Produktzyklen eingeht. Dies ist essentiell, um eine nahtlose Integration und Anwendbarkeit der AR-App in verschiedenen industriellen Umgebungen zu gewährleisten.

Angemessenheit der Projektarbeiten

- Einfachheit und Effizienz:
Die Ergebnisse der Nutzerstudie, insbesondere die Erkenntnis, dass Nutzer mit wenigen Möglichkeiten, wie dem Einschlagen von Ankern und dem Konstruieren von Wänden, zufrieden sind, zeigten, dass der Ansatz des Teams, eine einfache und dennoch effiziente App zu entwickeln, angemessen war.
- Fokus auf Integration:
Die Erkenntnis, dass Partner möglicherweise einen vollen Produktzyklus benötigen, um eine Schnittstelle in ihrer Software zu implementieren, hat das Team dazu veranlasst, eine langfristige Strategie für die Integration und Partnerschaft zu verfolgen. Dieser Ansatz war angemessen, da er die Realitäten des Marktes und die Herausforderungen der Integration anerkannte.

Die geleisteten Projektarbeiten waren sowohl in Bezug auf die Notwendigkeit als auch auf die Angemessenheit sehr gut abgestimmt. Das Team hat sorgfältig die Anforderungen und Herausforderungen des Marktes analysiert und Strategien entwickelt, die sowohl realitätsnah als auch zukunftsorientiert sind.

5. Voraussichtliche Nutzen der Ergebnisse i.S. des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Innovation und Entwicklung einer AR-App, die eine einheitliche Nutzeroberfläche bietet und dennoch eine einfache Anbindung an diverse industrielle Anlagen zulässt, verspricht mehrere signifikante Vorteile:

- Vereinfachte Bedienung:
Die einheitliche und einfach zu bedienende Nutzeroberfläche reduziert die Einarbeitungszeit für Mitarbeiter und minimiert menschliche Fehler. Dies führt zu Effizienzsteigerungen und Kosteneinsparungen im Betrieb.
- Universalität:
Da die App fähig ist, Daten von einer Vielzahl unterschiedlicher Anlagen mit verschiedenen Steuerungssystemen und Software-Bedienkonzepten zu integrieren, kann sie als universelle Lösung für ganze Industriebetriebe eingesetzt werden. Dies vereinfacht nicht nur den Betriebsablauf, sondern reduziert auch die Notwendigkeit, in verschiedene spezialisierte Softwaresysteme zu investieren.
- Integration mit bestehenden Systemen:
Die geplante Integration der AR-App mit dem ERP-System OMNITEC und dem Badanalyse-Programm ANALYTEC stellt einen weiteren entscheidenden Vorteil dar. Diese Integration ermöglicht es Unternehmen, alle relevanten Daten an einem zentralen Ort zu konsolidieren und zu analysieren, was die Entscheidungsfindung beschleunigt und optimiert.
- Neue Geschäftsmodelle:
Mit der Fähigkeit, einen gesamten Industriebetrieb abzudecken, eröffnen sich neue Geschäftsmodelle. Unternehmen können nun Dienstleistungen rund um die AR-App anbieten, sei es in Form von Schulungen, Beratung zur Implementierung oder der Entwicklung von maßgeschneiderten Modulen.

Die voraussichtlichen Vorteile der AR-App und ihre potenzielle Integration in bestehende Systeme versprechen nicht nur eine Revolution in der Art und Weise, wie Industriebetriebe ihre Anlagen steuern und überwachen, sondern auch erhebliche Geschäftschancen für Anbieter und Anwender gleichermaßen. Im Lichte des fortgeschriebenen Verwertungsplans dürfte die App sowohl in wirtschaftlicher als auch in operationeller Hinsicht erheblichen Mehrwert bieten.

Retrofitting mit Augmented Reality: Die digitale Revolution für industrielle Anlagen

In der Industrie wird die Lebensdauer von Maschinen und Anlagen oft für mehrere Jahrzehnte ausgelegt.

Die Steuerungen und die Elektronik hat aber gerade unter Industrie 4.0 Gesichtspunkten eine kürzere Lebensdauer und muss in kürzeren Zyklen ausgetauscht werden.

Nicht selten stehen in Betrieben Gerätschaften, die viele Jahre, wenn nicht gar Jahrzehnte, zuverlässig ihren Dienst getan haben. Die Mechanik dieser Anlagen ist oft noch in hervorragendem Zustand, doch die Elektronik und die Steuerungstechnik hinken den aktuellen Entwicklungen hinterher. Hier setzt das Konzept des Retrofitting an.

Was ist Retrofitting?

Retrofitting bezeichnet das Modernisieren älterer Maschinen oder Anlagen durch den Einbau neuerer Technologien. Statt teurer Neukäufe können Unternehmen so die Lebensdauer ihrer Anlagen verlängern und sie gleichzeitig auf den neuesten technologischen Stand bringen.

Die Herausforderung: Integration von Monitoren

Besonders bei industriellen Abwasserreinigungsanlagen, die über Jahre hinweg zuverlässig ihren Dienst verrichten, besteht oft das Problem der Integration moderner Monitoringsysteme. Räumlichkeiten und Bauweisen älterer Anlagenmodelle lassen häufig wenig Spielraum für den Einbau neuer Bildschirme oder Kontrollpannels.

Die Lösung: Augmented Reality (AR)

Mit der Entwicklung von Augmented Reality für Smartphones eröffnen sich völlig neue Perspektiven. Anstatt in die physische Infrastruktur einzugreifen, können technische Betriebsdaten direkt auf dem Display des Smartphones in Echtzeit angezeigt werden. Der Anwender scannt einfach einen QR-Code, um das Koordinatensystem der AR-App zu kalibrieren. Anschließend werden virtuelle Datentafeln präzise an den gewünschten Stellen im Raum – beispielsweise direkt an einer Maschine oder einem spezifischen Anlagenteil – eingeblendet.

Die Vorteile von AR im Retrofitting

1. Kosteneffizienz: Keine Notwendigkeit für teure Hardware-Installationen. Bestehende Smartphones können genutzt werden.
2. Flexibilität: Anzeigetafeln können je nach Bedarf an verschiedenen Stellen und für verschiedene Anlagenkomponenten platziert werden.
3. Zukunftssicherheit: Die AR-Technologie entwickelt sich rasant weiter und kann einfach aktualisiert werden, ohne in die Hardware der Anlage einzugreifen.

Retrofitting mittels AR bietet eine innovative Lösung für die Modernisierung älterer Industrieanlagen. Es ermöglicht nicht nur eine effiziente und flexible Überwachung und Steuerung, sondern trägt auch dazu bei, Ressourcen zu schonen und die Lebensdauer wertvoller Industrieanlagen zu verlängern. In Zeiten der Digitalisierung und Nachhaltigkeit ist dies ein bedeutender Schritt in Richtung Industrie 4.0.

6. Bekannt gewordener Fortschritt auf Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen (während Projektlaufzeit)

Während der initialen Phasen des Projekts war die Priorität, einen tragfähigen Prototypen für einen Proof of Concept zu erstellen. Die Wahl fiel zu diesem Zeitpunkt auf ARCore von Google, was aufgrund seiner technischen Überlegenheit und breiten Akzeptanz als die fortschrittlichste AR-Bibliothek betrachtet wurde.

Jedoch, wie es in der schnelllebigen Technologiewelt häufig der Fall ist, entwickeln sich Tools und Frameworks rasant weiter. In unserem Fall beobachteten wir, wie ARFoundation in kürzester Zeit erhebliche Fortschritte machte und in vielerlei Hinsicht an ARCore vorbeizog.

Die Entscheidung, von ARCore zu ARFoundation zu wechseln, wurde nicht leichtfertig getroffen. Die Hauptmotivation war die Plattformunabhängigkeit. Während ARCore primär Android-Geräte unterstützt, bietet ARFoundation die Flexibilität, sowohl Android- als auch iOS-Geräte zu unterstützen. Dies war ein entscheidender Vorteil, da es uns ermöglichte, ein breiteres Publikum zu erreichen und die Anwendung für Nutzer beider Hauptmobilplattformen verfügbar zu machen.

Die Integration von ARFoundation in unser Projekt war vergleichsweise reibungslos und fügte dem Endprodukt erheblichen Wert hinzu. Es ermöglicht nicht nur eine größere Marktdeckung, sondern auch eine verbesserte Performance und eine bessere Anpassungsfähigkeit für zukünftige AR-Entwicklungen.

Abschließend kann festgehalten werden, dass der Wechsel zu ARFoundation eine strategische Entscheidung war, die unsere AR-App in eine bessere Position brachte, um den Anforderungen der modernen Mobiltechnologie gerecht zu werden und den sich ständig ändernden Bedürfnissen der Benutzer zu entsprechen.

Vergleich und Analyse von ARCore und ARFoundation:

ARCore

Vorteile:

- Spezialisierung auf Android:
Ursprünglich von Google entwickelt, zeichnete sich ARCore durch eine fortgeschrittene technische Entwicklung aus, die speziell für Android-Geräte optimiert wurde.
- Direkte AR-Tools:
ARCore stellt spezifische Tools und Fähigkeiten zur Verfügung, die eine zielgerichtete Entwicklung von AR-Anwendungen auf Android ermöglichen.

Limitationen

- Plattformlimitierung:
Die Beschränkung auf Android-Geräte limitiert Entwickler, die an einer plattformübergreifenden Applikation interessiert sind.
- Zukunft der Entwicklung:
Es gibt Anzeichen dafür, dass Google möglicherweise die Weiterentwicklung von ARCore zugunsten von ARFoundation einschränken könnte.

ARFoundation:

Vorteile

- Plattformübergreifende Kapazität:
ARFoundation unterstützt sowohl iOS als auch Android, was Entwicklern ermöglicht, ein breiteres Publikum zu erreichen.
- Integration mit Unity:
Als Unity-Bibliothek ist ARFoundation eng in das Framework eingebunden, was eine kohärente Entwicklung und Integration erlaubt, obwohl es zu architektonischen Anpassungen führen kann.
- Wrapper-Funktion:
ARFoundation bietet Interfaces für verschiedene AR-Plattformen, darunter ARCore, ARKit, HoloLens und Magic Leap.

- Zugang zu erweiterten Funktionen:
Das Ökosystem von Unity ermöglicht den Zugang zu weiteren Funktionen wie der Light-weight Rendering Pipeline (LWRP) und dem Shadergraph.
- Zukunftssicherheit:
Anzeichen dafür, dass Google ARCore zugunsten von ARFoundation nicht weiterentwickeln könnte, legen nahe, dass ARFoundation kontinuierliche Aktualisierungen und Support erhalten wird.

Limitationen

- Namenskonflikte:
Bestehende Konzepte wie "Anchor" in ARFoundation könnten zu Namenskonflikten führen.
- Mathematische Herausforderungen:
Bestimmte Funktionen, wie das Platzieren eines Anchors, könnten komplexer in ihrer Umsetzung sein und zusätzliche Plugins oder Anpassungen erfordern.

Die Analyse deutet darauf hin, dass die Entscheidung für ARFoundation für Entwickler, die an einer plattformübergreifenden AR-Anwendung interessiert sind, von Vorteil sein könnte. Mit ARFoundation können Vorteile wie die Vielseitigkeit und erweiterte Funktionen von Unity genutzt werden. Dies erlaubt den Zugang zu einem breiteren Publikum aus sowohl Android- als auch iOS-Nutzern. Zudem scheint ARFoundation eine zukunftssichere Technologie zu sein, insbesondere in Anbetracht der möglichen Entwicklungentscheidungen von Google bezüglich ARCore.

7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 NKBF

Fachartikel

- **Juni 2021 WOMag - Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche - WOTech Technical Media**
Anlagendaten direkt in der Fertigung per App überblicken
- **Juni 2021 JOT - Journal für Oberflächentechnik - Springer Vieweg | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH**
Die richtige Information zur richtigen Zeit am richtigen Ort
- **Dezember 2021 Badische Neueste Nachrichten - Badendruck GmbH**
Weihnachtskrippe in Waldbronn mit Augmented Reality (AR)
- **Mai 2022 WOMag - Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche - WOTech Technical Media**
- **Juni 2022 WOMag - Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche - WOTech Technical Media**
Augmented Reality auf der Surface Technology erleben
- **Oktober 2022 WOMag - Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche - WOTech Technical Media**
Anlageninformationen vor Ort sichtbar machen mit Augmented Reality
- **Jahrbuch Oberflächentechnik 2022, Band 78** - Eugen G. Leuze Verlag GmbH & Co. KG
Verbogene Informationen sichtbar machen – Potenzial von Augmented Reality in der Oberflächentechnik
- **Mai 2023 Besser Lackieren** - Verlag Vincentz Network GmbH & Co. KG
- **Juni 2023 mo Metallocberfläche - I.G.T. Informationsgesellschaft Technik mbH**
Digitale Früchte ernten

Vorträge

Oktober 2021 – 23rd ACM International Conference on Multimodal Interaction

Vortrag **Interaction Techniques for 3D-Positioning Objects in Mobile Augmented Reality**

Referent: **Carl-Philipp Hellmuth**

Juni 2022 - Surface Technology - Stuttgart - Fachforum WOMag

Vortrag **Augmented Reality in der Oberflächentechnik**

Referent: **Michael Hellmuth**

September 2022 - ZVO Oberflächentage - Leipzig

Vortrag: **Smart ERP - Smart Factory**

Referent: **Michael Hellmuth**

Mai 2023 Besser Lackieren vor Ort bei NanoCoat - Lüdinghausen

Vortrag: **Effizienz steigern durch ortsbezogene Live-Informationen - Mit Augmented Reality technische Daten jederzeit anzeigen**

Referent **Arnaud Kropf**, Leiter Vertrieb & Marketing, Softec AG

September 2023 Smart Process Manufacturing Kongress - Würzburg

Vortrag: **Der Weg zum intelligenten Galvanikbetrieb – Der Digitale Zwilling, Augmented Reality und vorausschauende Wartung im Praxistest**

Referenten:

Udo Sievers, eiffo

Carl-Philipp Hellmuth, Softec

Oktober 2023 ProWaTech Experten Workshop

Vortrag: **Augmented Reality – digitale Inhalte mit Smartphone anzeigen**

Referenten:

Dipl. El. Ing. ETH Benno Fiechter, Eltromatic AG

Dipl. Ing. Ivano Isepponi, Eltromatic AG

Arnaud Kropf, Leiter Vertrieb & Marketing, Softec AG

Videomaterial

März 2021 - AR-Prototyp in der Lerngalvanik

<https://www.softec.de/2021/08/04/sich-einfach-die-produktqualitaet-per-app-sichern/>

Juni 2022 - Surface Technology Messefilm mit AR-App Implementierung

<https://www.softec.de/2022/07/20/surface-technology-germany-2022-messefilm/>

Juli 2023 mo-TV - I.G.T. Informationsgesellschaft Technik mbH

Besuch in der Lerngalvanik des Fraunhofer IPA

mo-TV zu Gast beim Fraunhofer IPA in der Lerngalvanik. Diese wurde im Rahmen des SmARtPlaS-Projektes aufgerüstet und unter anderem durch die Softec AR-App mit Augmented Reality-Funktionen ausgestattet.

https://oberflaeche.de/video/videos/artikel?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=4940&cHash=7446f23e57e13654aa813a83a61f8123

AP 5: B+T Oberflächentechnik GmbH

Dipl.-Ing. (FH) Norbert Kaufmann

Teil I: Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik (SmARTPlaS);

mit dem Teilvorhaben:

Vorausschauende Wartung & Augmented Reality im intelligenten Galvanikbetrieb; technische Infrastruktur und Schnittstellen zu betrieblichen Systemen und Mitarbeiterführung

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Eine Befragung wurde bei den Mitarbeitern der Produktion über verschiedene Altersgruppen durchgeführt und resultierte in eindeutigen Ergebnissen, das als höchste psychische Belastung **fehlende Informationen** bezüglich der **aktuellen Aufgabenstellung** und dem **zugehörenden Arbeitsumfeld und seiner Komplexität** anzusehen ist. Funktionierende unterstützende IT Systeme werden durch den Mitarbeiter als nutzbringende Hilfestellung bei der Ausübung der Tätigkeiten und der Entscheidungsfindung angesehen. Dabei wird den primären aufgabenbezogenen Informationen hinsichtlich der Auftragsdaten und den Anlagendaten die höchste Priorität zugeordnet und ereignisbezogene, zugeschnittene Handlungsempfehlungen erwartet.

3. Plan und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)

Im Rahmen der Konzeptionierung wurde eine erhöhte Gewichtung auf die Anforderungen des Mitarbeiters gelegt und ein mehrphasiger Ausbau der Datenvernetzung hinsichtlich der Komplexität und der Adressierung festgelegt. Vorhandene Strukturen und Ebenen sollen beibehalten und durch unterschiedliche zugeschnittene Informationsaufbereitung und Darstellung unterstützt werden. Berücksichtigt wurden dabei die anlagenübergreifende Verkettungen von Produktionsabfolgen und die Visualisierung des Status der Produktionsschritte unter Einbeziehung der Durchlaufzeiten und der Vorgabe des automatisierten Informationsaustausches der Systeme, mit dem Ziel der Visualisierung von Teilbereichen auf den jeweiligen Produktionsebenen bis hin zu der Darstellung des übergreifenden Gesamtsystems auf der Management Ebene. Existierende Systeme sind dazu erweitert worden und der Datenexport durch SQL Scripte realisiert. Die bereitgestellten Daten werden automatisiert in unterschiedlicher Informationsbreite aufbereitet und z.T. grafisch visualisiert. Die Datenbereitstellung erfolgt im Rahmen eines SmartService zugeschnitten auf den Empfänger in unterschiedlichen Kommunikationsformen (Mail, Bildschirm, Mobilfunkgerät) in den erforderlichen Zeitabständen (Täglich, Monatlich, Jährlich). Die Visualisierung mittel AR und VR über ein Smartgerät oder eine Datenbrille konnte realisiert werden, hat sich aber für den Einsatzbereich einer galvanischen Beschichtungsanlage als ungeeignet herausgestellt.

Im weiteren Projektverlauf hat sich die Ermittlung von Energiekennzahlen in Verbindung mit den jeweiligen Produktionsleistungen als wichtigen Punkt bei der Beurteilung der Steuerung der betrieblichen Systeme herausgestellt, so dass die entwickelte Systematik auf diese Bereiche (Strom, Gas und Wasser) ausgebaut worden ist.

Es konnte durch betriebliche Vorkommnisse im Nachhinein Erkenntnisse abgeleitet werden, welche zur Erweiterung der Planungstools hinsichtlich eines vorausschauenden Energieeinsatzes geführt haben, einschließlich der Visualisierung des berechneten zu erwartenden Energieeinsatzes über die gesamte Produktion.

Die Integration von selbstlernenden Systemen über KI-Ansätze ist an der Menge und der Komplexität der Daten, welche mit den zur Verfügung stehenden Rechenkapazitäten nicht mehr bearbeitet werden konnten, nur in Ansätzen erfolgreich gewesen.

4. Wesentliche Ergebnisse im Überblick

Im Rahmen des Projektes ist es gelungen, den zu Beginn erhobenen Bedürfnissen der Mitarbeiter mittels der entwickelten SmartService Lösungen die benötigten Informationen bedarfsgerecht aufgearbeitet und visualisiert in den erwünschten Zeitabständen automatisiert zur Verfügung zu stellen. Dabei wurden die bestehenden Systeme und Datenbanken im größtmöglichen Rahmen genutzt und nur geringfügig ergänzt. Besonders wichtig war es die automatisierten Abläufe der Datenextraktion, Aufbereitung und Verteilung realisieren zu können und auf die unterschiedlichen Bedürfnisebenen bis hin zur obersten Managementebene zu integrieren.

Auf die gestiegene Bedeutung der Ressource Energie konnte im Verlauf des Projektes angemessen reagiert werden und der Service konnte auf diese Bereiche mit der gleichzeitigen Kopplung von Produktionsleistungskennzahlen erweitert werden.

Die differenzierte und vorausschauende Betrachtung von zu erwartenden anlagenübergreifenden Verbräuchen mit der gleichzeitigen Möglichkeit der real-time Planung und Bewertung der Ergebnisse hat bereits zu Einsparungen von Energie, bzw. zur Vermeidung von Lastspitzen geführt.

Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in die weitere Fabrikplanung, bzw. in den Transfer zur CO₂-neutralen Technologie ein und dienen als Grundlage für die künftige Energieversorgung durch eigenen hergestellten Wasserstoff im Rahmen der GoGreen Kampagne der B+T Unternehmensgruppe.

5. Ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Nicht zutreffend.

Zuwendungsempfänger: B + T Oberflächentechnik GmbH Ernst-Befort-Str. 1, 35578 Wetzlar	Förderkennzeichen: 02K18D110
Förderprogramm: Internetbasierte Dienstleistungen (Smart Services)	
Titel des Vorhabens: Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik (SmARtPlaS)	Teilvorhaben: Vorausschauende Wartung & Augmented Reality im intelligenten Galvanikbetrieb; technische Infrastruktur und Schnittstellen zu betrieblichen Systemen und Mitarbeiterführung
Projektleiter/ Projektleiterin: N. Kaufmann	Tel.: +49 6441 7806-262 E- Mail: n.kaufmann@bt-unternehmensgruppe.de
Laufzeit des Vorhabens von: 01.10.2019	bis: 31.03.2023

Teil II: Eingehende Darstellung

1. Ausführliche Darstellung durchgeföhrter Arbeiten und erzielte Ergebnisse

1.1. Konzeption von Lösungen für den Einsatz von vorbeugender Instandhaltung mittels Informationstechnologie unterstützter Mitarbeiterführung

Zum Projekt-Kickoff wurde die B+T Unternehmensgruppe mittels Zahlen und Leistungsdaten vorgestellt. Die diversen galvanischen und mechanisch aufgebrachten Oberflächen und Wärmebehandlungen wurden erläutert und die Problematiken bezüglich der gestellten Projektaufgabe und der Umsetzungsnotwendigkeit beim Betreiben von Oberflächenbeschichtungsanlagen mit Schwerpunkt auf die Unterstützung und Führung der Mitarbeiter dargestellt. In das Gesamtkonzept wurden die Erwartungshaltungen und Anforderungen aus Sicht des Betreibers bezüglich der Transparenz der Arbeitsumgebung und der resultierenden vorausschauenden Wartung bei IT-gefährter Mitarbeiterunterstützung dargelegt. Zusätzlich sind die Erwartungen der Leitungsebene im Projektfortschritt stärker in den Vordergrund gerückt worden. Mit dem Grad der Vernetzung und der Erhöhung der Komplexität in der Aufgabenstellung steigen die Anforderungen bezüglich der Informationsbeschaffung und der übersichtlichen Darstellung zur effektiven Beurteilung und Planung der Fertigungsprozesse.

1.1.1. Definition des betrieblichen Umfangs

Der Umfang der zu betrachtenden Betriebsteile wurde zunächst auf die Beschichtungsanlage „BTH2“ für Zn Oberflächen und den folgenden Nachbehandlungsschritten, sowie der Peripheren Anlagen bezüglich der Abluftaggregate festgelegt. Den Projektpartnern wurden dazu die technischen Anlagendaten, sowie die Datenblätter der verwendeten Prozessbäder zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen der Konzeptionierung wurde eine erhöhte Gewichtung auf die Anforderungen des Mitarbeiters gelegt und durch eine Personenbefragung der Mitarbeiter der Produktion über verschiedene Themenbereiche wie Stress, Monotonie, Ermüdung und weitere begründet. Anhand der Zielvorgaben wurde die Konzeption mittels einer symbolischen Modellierung (Abbildung 1: Mehrstufiger Ausbau) der Datenvernetzung über einen mehrphasigen Ausbau skizziert (1.3 Einbindung und Qualifikation der Mitarbeiter).

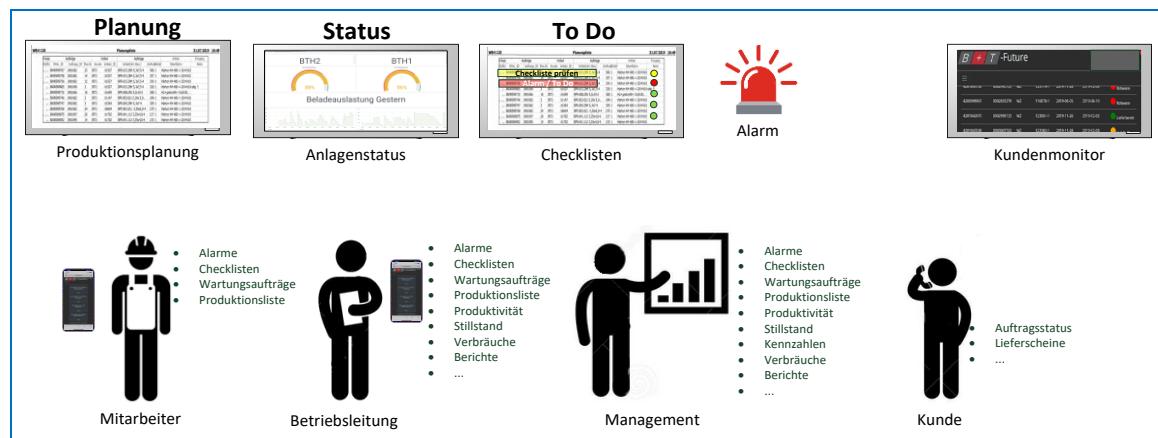


Abbildung 1: Mehrstufiger Ausbau

Art	Herkunft	Verbindung	Intervall	Schnittstelle	Bemerkung	Art	Herkunft	Verbindung	Intervall	Schnittstelle	Bemerkung
Artikel	ERP-System	LAN	kontinuierlich	CSV	Das ERP System erfasst und verwaltet alle Daten zu den Fertigungsaufträgen. Es sind parametrisierbare Daten-Extraktions Skripte verfügbar, welche in Intervallen die Daten als CSV –Dateien zur Verfügung stellen	Verfügbarkeit	Visual-Planung, Anlagen-steuerung	LAN	offen	CSV	Die Verfügbarkeit, Status und die Planbarkeit der Anlage , sowie der Zustand von Hardware und Chemie soll aus verschiedenen Quellen zusammengeführt und zur Verfügung gestellt werden.
Auftrag	ERP-System	LAN	kontinuierlich	CSV		Zustand Chemie	Prozessbad-überwachung	LAN	offen	CSV/MQTT	Hierzu müssen noch Messaufnehmer (K-Alpha) und Verbindungen zu vorhandenen Systemen hergestellt werden, bzw. für Peripherie – Aggregate integriert werden.
Lagerort	ERP-System	LAN	kontinuierlich	CSV		Zustand Physisch	Anlagen-steuerung	LAN	offen	MQTT	U.a. sollen hier Analysenergebnisse - Temperatur, Füllstände, Verschr. Trommelkontakte, Trommeldrehun. aufgenommen werden.
Prüfungen	ERP-System	LAN	kontinuierlich	CSV		Störungen	Anlagen-steuerung	LAN	offen	MQTT	
Planung	Visual-Planung	LAN	10 min	CSV	Das Planungstool importiert die Auftragsdaten und ermöglicht die Planung und Visualisierung der Aufträge und deren Status. (, gestartet, beendet)						
Fertigung	Anlagen-steuerung	LAN	kontinuierlich	CSV	Die Protokolldaten der Anlagensteuerung (Galvanik, WBH, Sortieranlagen) werden ausgelesen und als CSV Daten bereitgestellt						

Abbildung 2: Datenquellen

Bei der Erstellung der zusammenfassenden Übersicht wurden bereits existierende Systeme und Datenverbindungen (Abbildung 2: Datenquellen) im Konzept berücksichtigt. Die MQTT Schnittstelle zur Galvanischen Anlage wurde mit dem Partner Ditec gemeinsam entwickelt und in Betrieb genommen. (Abbildung 3: Datenverbindungen und Schnittstellen)

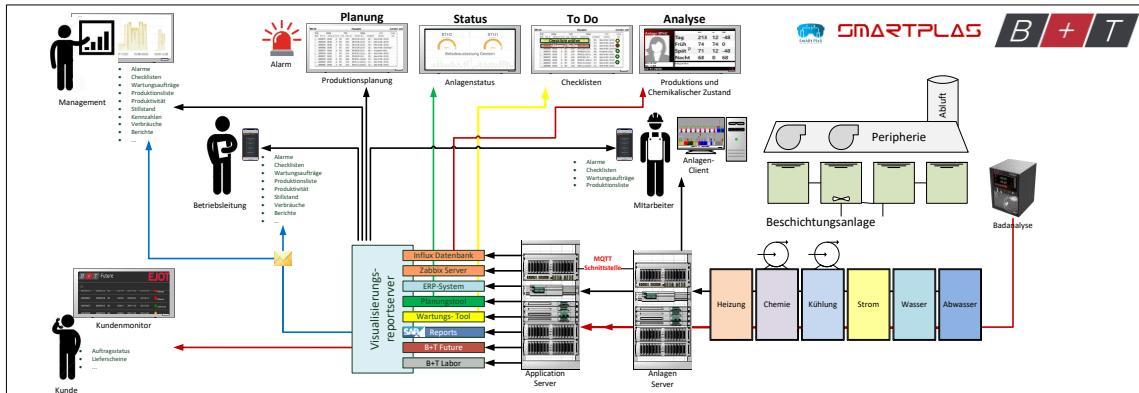


Abbildung 3: Datenverbindungen und Schnittstellen

1.1.2. Zentrales Datenverwaltungssystem (TI-Cloud) Konzeption des Datenhosts; Datenbank; Sicherheitskonzept

Zentrales Element der SmartPlas Umgebung bildet die Konzeption des Zentralen Datenverwaltungssystems mit den entsprechenden Auswertungs- und Visualisierungsaufgaben, unter Berücksichtigung des ausreichenden Sicherheitsstandards und der Möglichkeit der Cloud Anbindung. Die Rechenleistung für später zu entwickelnde KI Algorithmen ist versucht zu berücksichtigen.

Ausgewählt wurden dazu ein Servercluster mit 24-fach Polaris GPU, 192 GB und 55296 Kernen. Die zu erwartende Rechenleistung liegt bei 150 TeraFlops.

Als Endgeräte kommen zunächst LCD Bildschirme mit 42“ und einer Anbindung mittels Stationären Rasberry P. Die erforderlichen Netzwerknoten und Verbindungen wurden zu den Info-Points verlegt.

Als Mobiles Info- und Meldeterminal soll, ein zunächst stationär montiertes Tablet zum Einsatz kommen. Hier sollten zunächst die entwickelten Applikationen getestet und die Mitarbeiter in der Anwendung geschult und herangeführt werden.

1.1.3. Visualisierung in der Leitungsebene

Aus der Visualisierung der Produktionsdaten in der Fertigung zum einen und der steigenden Erhöhung der Komplexität der Planungsvorgaben ergeben sich Anforderungen des Informationsbedarfes bei der Produktionsplanung und Steuerung. Anhand von Arbeitsmeetings wurden die Anforderungen aufgenommen:

- Verkettung von Produktionsabfolgen, auch Anlagenübergreifend
- Visualisierung des Status von Produktionsschritten
- Einbeziehung von Durchlaufzeiten
- Automatisierter Informationsaustausch der Systeme
- Visualisierung des Gesamtsystems

Die dabei verwendeten Systeme wie das PPS System CS-PRO; das Planungstool VP (VisualPlaning) die Anlagensteuerung (Progat) und die Wartungs/Servicemanagement Software (SM-Server) sollen dabei berücksichtigt werden und interagieren.

Neben der Darstellung der Produktionsinformationen werden auf der Planungs- und Leitungsebene zusätzliche Bedarfe an Informationen erforderlich. Zur Umsetzung der aufgenommenen Anforderungen wurde ein gesonderter Planungsbereich (OperationCenter) eingerichtet (Abbildungen 5–7).

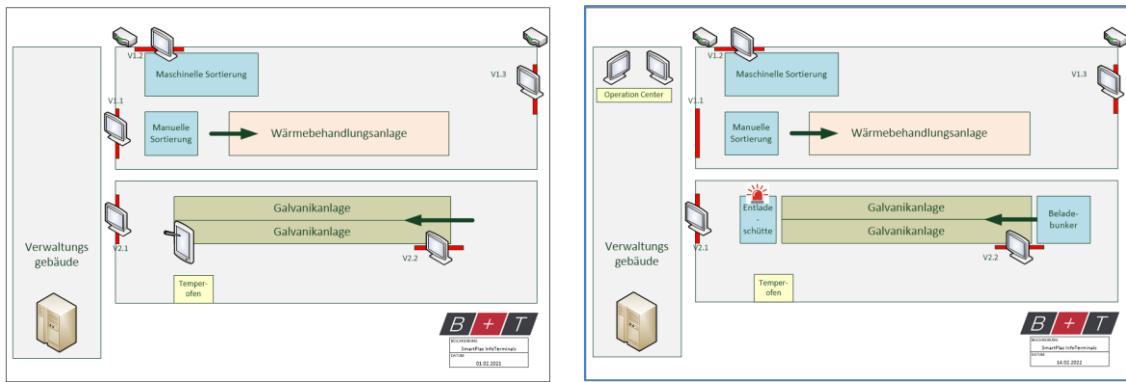


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Visualisierung

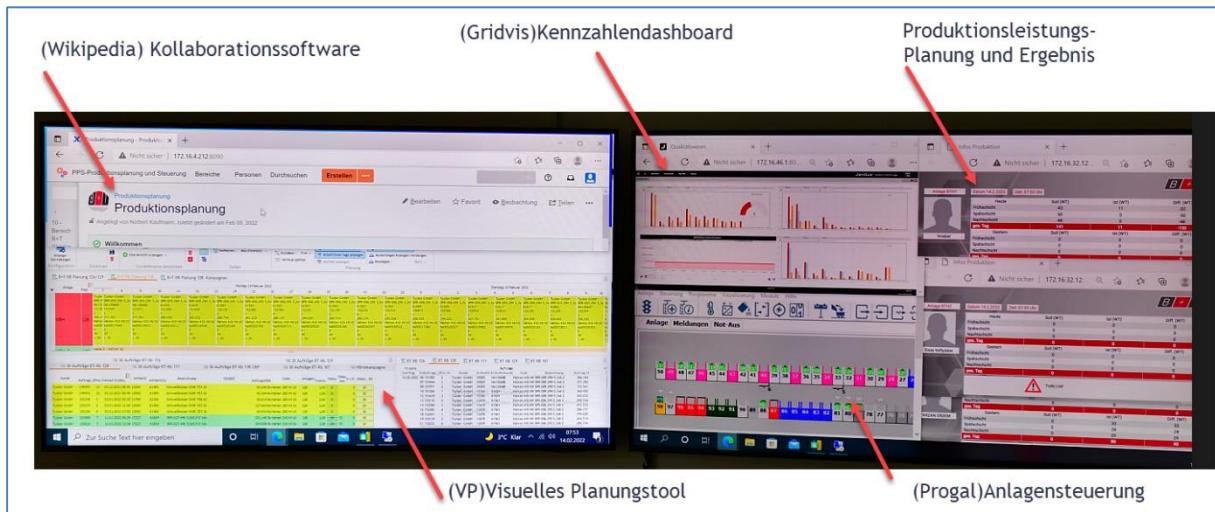


Abbildung 5: Monitoransicht Produktionsdaten im Operation Center

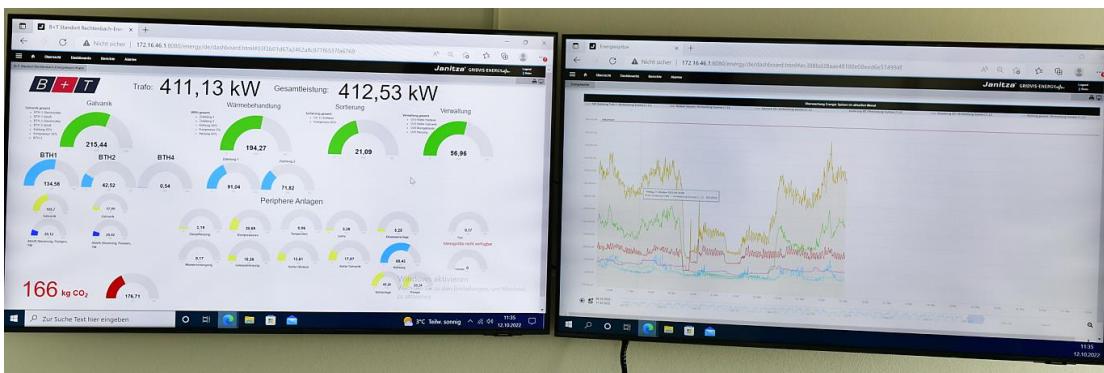


Abbildung 6: Monitoransicht Energiedaten im Operation Center



Abbildung 7: Operation Center

1.1.4. Entwicklung von Zeitschemata/Intervallen/Erfassungszyklen für die Anlagen, Messstellen und Peripherie

Das vorhandene Service Manager Tool der Anlagensteuerung wird zunächst hinsichtlich der Funktionalität und der Anpassungsmöglichkeiten hin überprüft. Dazu ist ein Testsystem aufgesetzt.

Ergänzend zu den Serviceaufträgen sollen die existierenden Papier-Checklisten über eine einfache Editierung in einer Datenbank verwaltet, ausgelöst und durch den Mitarbeiter ausgefüllt werden.

Darüber hinaus sollen die Alarmmeldungen und Warnhinweise der Anlagensteuerung angezeigt werden. (Abbildung 8: Konzept Datenrückmeldung Es sollen Fehler und Maßnahmen ggfls. über ein Ticketsystem behandelt werden. Im Konzept werden die Rückmeldungen der vorrausschauenden Badanalyse und deren Handlungsempfehlungen berücksichtigt.

Es soll im weiteren Projektverlauf geprüft werden ob eine KI zur Verwaltung des Wissens und zur Ableitung von Maßnahmen und Handlungsempfehlungen eingesetzt werden kann.

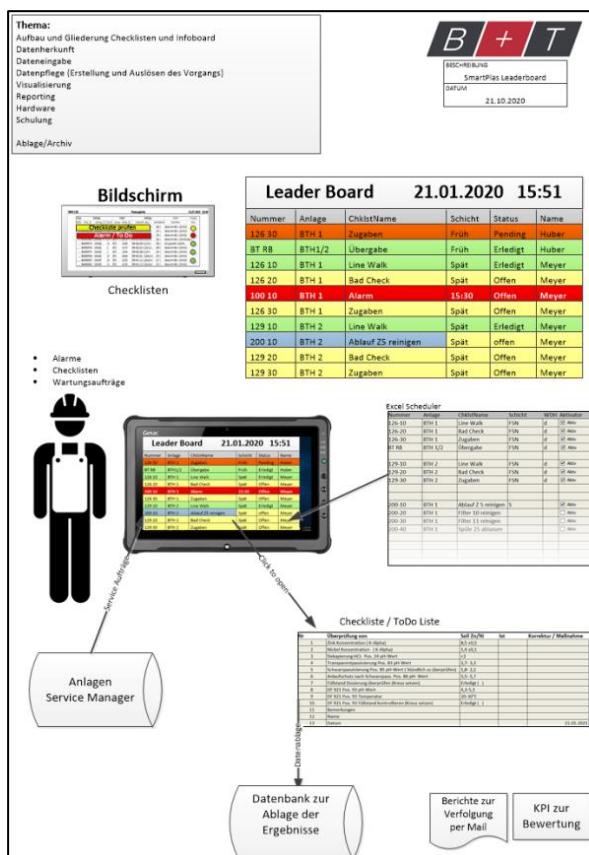


Abbildung 8: Konzept Datenrückmeldung

1.2. Entwicklung eines ganzeinheitlichen Ansatzes zur vorrausschauenden Wartung und Instandhaltung

Es müssen sowohl die wiederkehrenden Tätigkeiten (Wartungen, Inspektionen und im Besonderen Reinigungen bei dem Betrieb von galvanischen Anlagen) als auch Ereignisgesteuerte Tätigkeiten in dem Ansatz berücksichtigt werden. Teilweise handelt es sich um komplexere Tätigkeiten, welche mehrere Arbeitsschritte und Eventualitäten beinhalten, die auch der Planung und Abstimmung mit der Disposition und den Kundenterminen bedürfen. Für die wiederkehrenden Tätigkeiten wird eine systematische Auslösung mit gleichzeitiger strukturierter Ausführungsanweisung, zu erwartende Rückmeldungen und die Kontrolle der Durchführung, bzw. Meldung bei Abweichungen benötigt.

1.3. Einbindung und Qualifikation der Mitarbeiter

1.3.1. Mitarbeiterbefragung

Die Befragung wurde bei den Mitarbeitern der Produktion über verschiedene Altersgruppen durchgeführt und resultierte in eindeutigen Ergebnissen, das als höchste psychische Belastung **fehlende Informationen** bezüglich der **aktuellen Aufgabenstellung** und dem **zugehörenden Arbeitsumfeld und seiner Komplexität** anzusehen ist.

Funktionierende unterstützende IT Systeme werden durch den Mitarbeiter als nutzbringende Hilfestellung bei der Ausübung der Tätigkeiten und der Entscheidungsfindung angesehen.

Dabei wird den primären aufgabenbezogenen Informationen hinsichtlich der Auftragsdaten und den Anlagendaten die höchste Priorität zugeordnet und ereignisbezogene, zugeschnittene Handlungsempfehlungen erwartet.

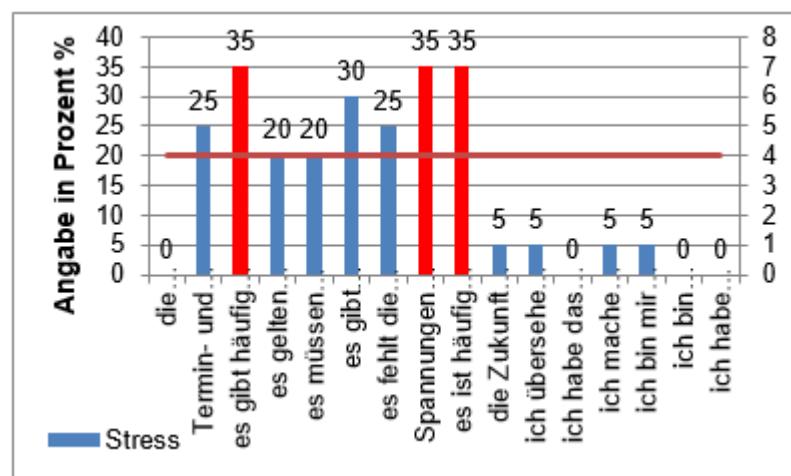


Abbildung 9: Ergebnisse Mitarbeiterbefragung 1

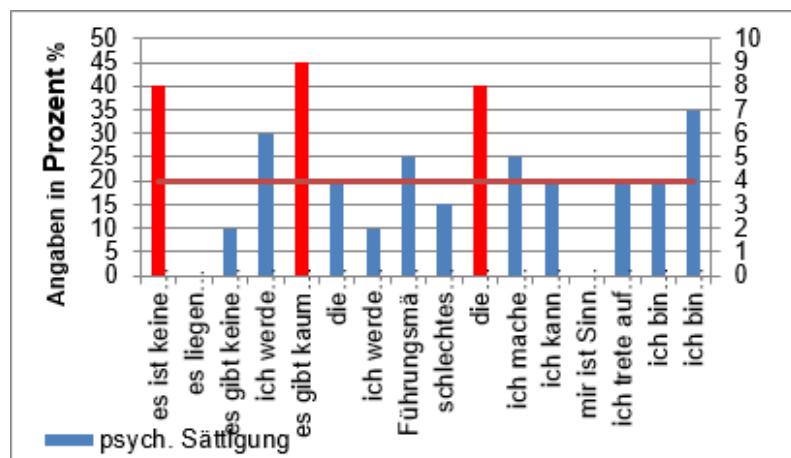


Abbildung 10: Ergebnisse Mitarbeiterbefragung 2

1.3.2. Aspekte der Industriellen Umsetzung

In divers zusammengesetzten Kleingruppen werden täglich anhand der visualisierenden Systeme die Planung und die Umsetzung der Produktionsvorgaben mit den Kundenanforderungen und den Unternehmenskennzahlen aus dem Bereich Energiemanagement und Qualität abgestimmt. Hier stehen sowohl die Belange des Unternehmens im Focus, als auch die Anforderungen der Mitarbeiter bezüglich Schulung, Verständnis und Wissen um die Zusammenhänge der digitalen Transformation. Beim „Training on the Job“ werden zusätzliche Anforderungen und Anregungen erfasst und unmittelbar mit den beteiligten Fachabteilungen und der IT direkt umgesetzt.

Zum Zwecke der Übergeordneten Anlagenplanung werden aus den eingegangenen Aufträgen die möglichen Reichweitenplanungen der einzelnen Anlagen vorgenommen. Durch hinterlegte Algorithmen werden die Auftragsdaten für den Mitarbeiter zum Zwecke der übersichtlichen Planung umgerechnet und grafisch dargestellt und versendet.

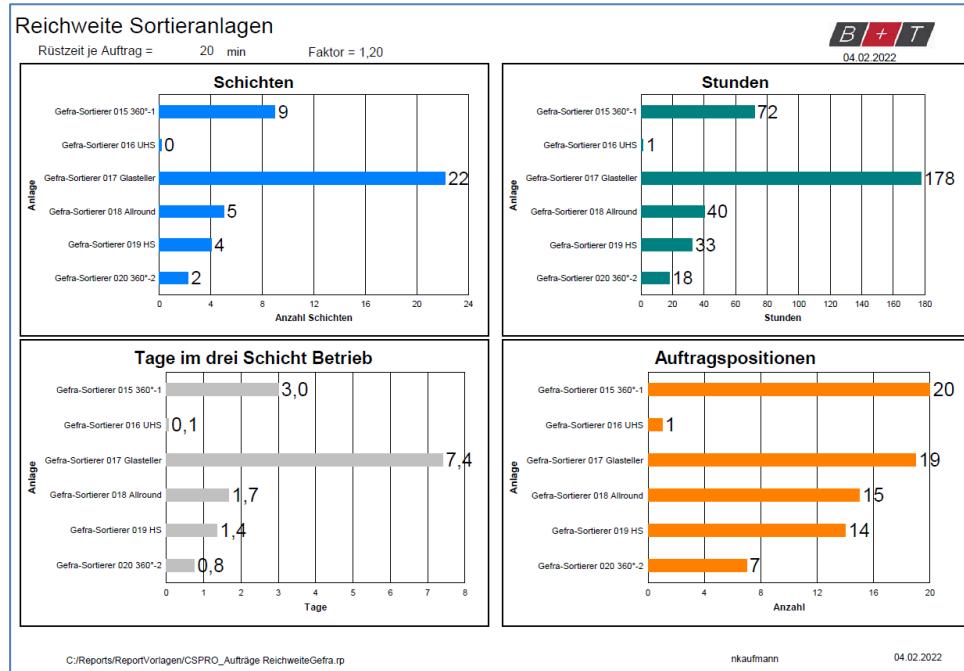


Abbildung 11: Grafische Darstellung der Reichweitenplanung

Die Produktionsplanung erfolgt durch eine zweistufige Vorgehensweise, indem zunächst auf einer übergeordneten Planungsebene die Anlagen bezüglich der Reichweitenplanung (Abbildung 11: Grafische Darstellung der Reichweitenplanung), der Verfügbarkeit aufgrund von geplanten Wartungen aus dem ServiceManager Tool (Abbildung 12: Planung der Wartungsaufgaben) und der Verfügbarkeit von Personal grob geplant werden und anschließend von den Mitarbeitern der Disposition aus dem importierten Auftragsvorrat auf Anlagenebene mit Aufträgen bestückt werden.

ID	Aufgabe	Wartungsobjekt	Ausgelöst	Angenommen	Beendet
1659	Wartung Sichtkontrolle Glocke Beschichtung	M WZ 24	10.12.2021 TH	Annehmen	
1520	Wartung Funktionsprüfung	S WZ 25	15.12.2021 TH	Annehmen	
27948	Kontrolle der Trommeln Kontaktierung, Kabelbruch, Kontaktklöppel, Anhaftungen Scheibenkontakte	Beschichtungstrommel	20.12.2021 Kwast	10.02.2022 Kwast	
1604	Prüfung Allgemeine Sichtkontrolle Automatische Ableitung Kondensat Keilriemen	RB Kompressoren Filtermatte / Olukhler Innenseite Druckluftentöpfung Wartungsr	01.01.2022	Annehmen	
1608	Prüfung Allgemeine Sichtkontrolle Automatische Ableitung Kondensat Keilriemen	WZ Kompressoren Filtermatte / Olukhler Innenseite Druckluftentöpfung Wartungsr	15.01.2022	Annehmen	
988	Kontakteinigung Kontakte mit Drahtbürste reinigen	Pos. 37 alk ZnNi 4	26.01.2022 Schichtführer	Annehmen	
27948	Kontrolle der Trommeln Kontaktierung, Kabelbruch, Kontaktklöppel, Anhaftungen Scheibenkontakte	Beschichtungstrommel	05.02.2022 Kwast	Annehmen	

Abbildung 12: Planung der Wartungsaufgaben

Bei der Feinplanung der Anlagen auf der Auftragsschrittebene können die Dispositionsmitarbeiter direkt die Verfügbarkeit bzw. Nicht-Verfügbarkeit von Anlagen berücksichtigen. (Abbildung 13: Feinplanung der Anlage mit Verfügbarkeitsvorgabe aus anderen Systemen)

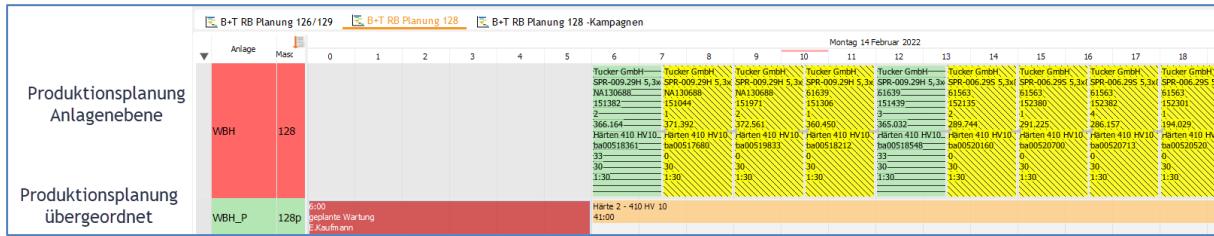


Abbildung 13: Feinplanung der Anlage mit Verfügbarkeitsvorgabe aus anderen Systemen

Nach der Einführung und Etablierung dieses Prozesses soll eine Ausweitung und Verknüpfung auf einen weiteren Unternehmensstandort erfolgen. Dabei sollen die komplexen Anforderungen an den Datentransfer, die Transparenz der Visualisierung, die synchronisierenden IT-Prozesse im Hintergrund und die Kommunikation mit den Mitarbeitern bei den bisher eingeführten Standards der SmartPlaS Anwendungen berücksichtigt werden und auf eine nächste Stufe portiert werden.

Als Stufen bei der Einführung von SmARt PlaS Services ergeben sich damit zusammengefasst Informations- und Visualisierungsbedarfe auf verschiedenen Ebenen und IT-Systemen (Abbildung 14: Existierende IT Systeme) im Unternehmen bezüglich:

- Auftragsbezogene Vorgaben aus den PPS Systemen
 - Berechnen von Planungshorizonten
 - Wartung und Instandhaltungsvorgaben
 - Anlagenverfügbarkeit
 - Verkettung von Produktionsschritten über Anlagen und Standorte
 - Logistik und Transportplanung

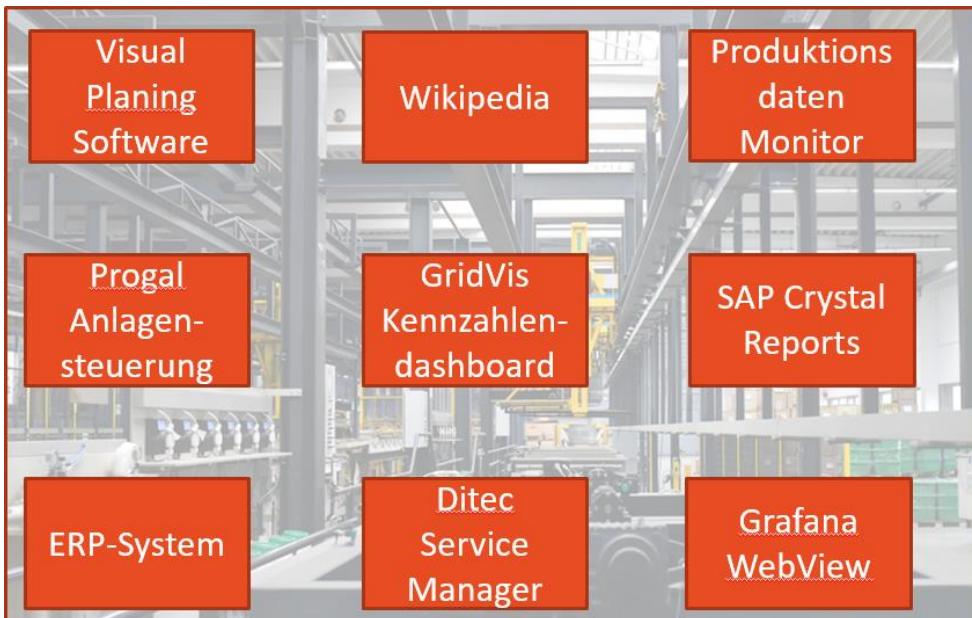


Abbildung 14: Existierende IT Systeme

Die Generierung der Bildschirmberichte erfolgt mittels einer ReportSoftware, welche über einen gesonderten Report Server die Berichte in konfigurierten Abständen (täglich, wöchentlich oder monatlich) erstellt und sowohl per Mail **personalisiert** an die **bestimmten Personenkreisen** versendet oder als Bildschirminhalt an die verschiedenen Monitore verteilt wird.

1.4. Industrielle Umsetzung, Validierung in industrieller Testumgebung

Gemäß Abbildung 4 sind die Bildschirme an den vorgesehenen Orten aufgestellt und vernetzt worden.

Die Schnittstelle zum ERP System „CSPRO“ für den Export von Auftragsdaten sind entwickelt und übermitteln Datensätze zu Arbeitsvorbereitung und Anlagenplanung, sowie zum stetigen Auftragsstatus. Die erste Visualisierung von Auftragsdaten ist in der Phase eins entwickelt und wird in der Produktionshalle ausgestrahlt.

Weitere Visualisierungen sind installiert, so werden für den Mitarbeiter wechselweise Informationen zum Schicht- und Tourenplan bzw. systemrelevante Messdaten (hier: Messwerte des ZnNi Analysesystems) auf dem Bildschirm dargestellt, bzw. die offenen Aufgaben mit den Inhalten der fälligen Wartungstätigkeiten angezeigt. Der weitere Ausbau erfolgt dann stets der in Abbildung 15: Schema zu Datenbereitstellung dreistufigen Schematik.

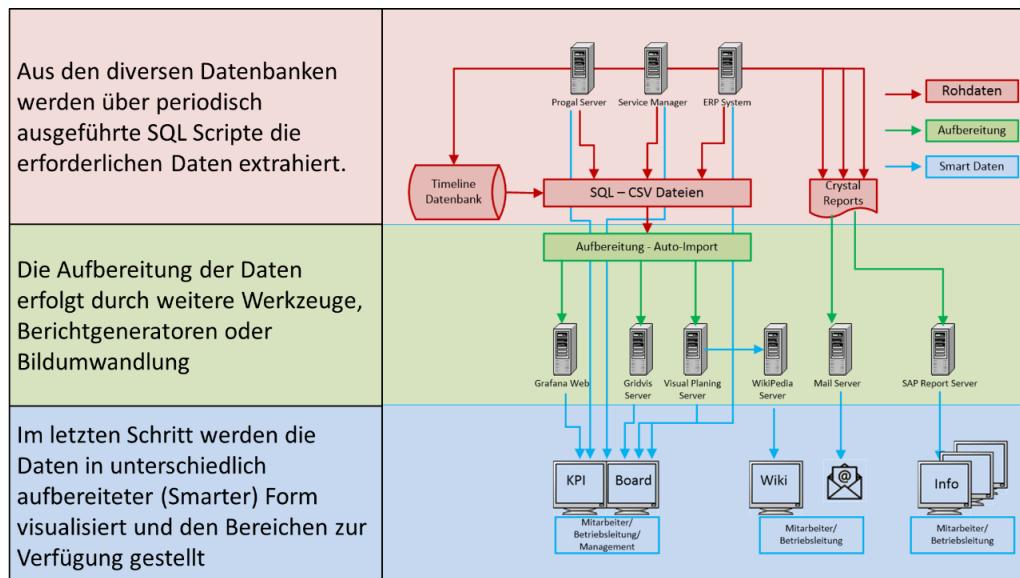


Abbildung 15 Schema zu Datenbereitstellung



Vorgang		Starttag	Sta	Auftrags_ID	Pos.N	Kunde	ArtikelID	Arti
BT WZ 24	BT WZ 26	10.02.2021	13	136721	1	Tucker GmbH	465.10	60841
		11.02.2021	02	136837	1	Tucker GmbH	4464	60745
			03	136862	28	Tucker GmbH	516.10	60656
			03	136813	2	Tucker GmbH	516.10	60656
			03	136816	19	Tucker GmbH	516.10	60656
			07	136862	26	Tucker GmbH	11840	61378
			07	136816	4	Tucker GmbH	11840	61378
			07	136839	10	Tucker GmbH	11840	61378
			08	136862	6	Tucker GmbH	11840	61378
			08	136862	23	Tucker GmbH	11840	61378

Abbildung 16: Visualisierung in der Produktionshalle

Die Erweiterung der Auftragsdatenverarbeitung erfolgt über die Software VisualPlaning. Hierzu sind Anwendersichten entwickelt, die in der Produktionshalle visualisiert werden

Im Berichtszeitraum erfolgte ein weiterer Ausbau der Kennzahlensystematik für die nächst höhere Managementebene, welche sich auf das Environmental Monitoring mit der Ausweisung von Energie und CO₂ bezogenen Daten befasst.

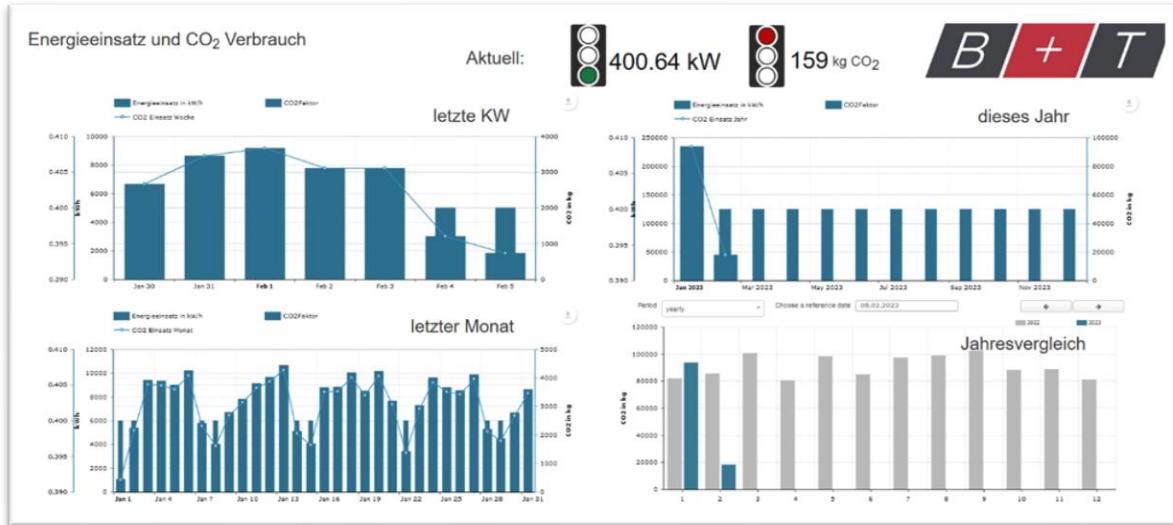
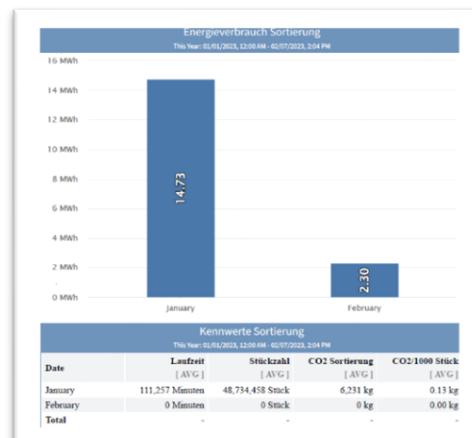


Abbildung 17: Energieeinsatz



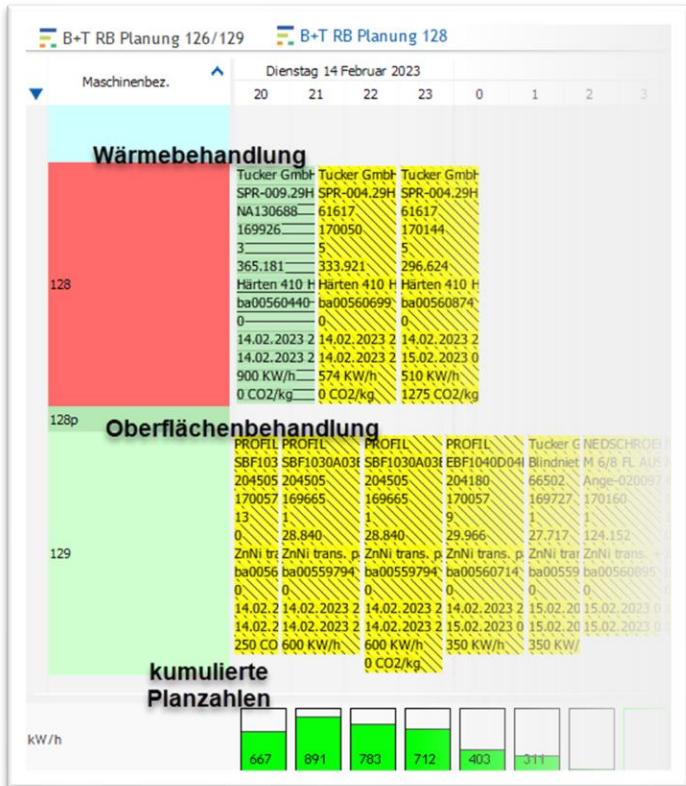
Zur Überwachung und Visualisierung der zusammengefassten Energieeinsätze (Strom und Gas) werden die Bezugsgrößen der Produktionsleistung angepasst an den jeweiligen Bereich als Leistungskennzahl im Rahmen von monatlichen Management Reviews für die einzelnen Bereichsleiter aufbereitet. Die tatsächlich beschichtete Oberfläche in dm² oder die Menge von sortierten Teilen, wird in das Verhältnis zur eingesetzten aufsummierten Gesamtenergie gebracht

Abbildung 18: Energieeinsatz der Sortierleistung

Bereich	Produktionsleistung	Energie (Strom)	Kennzahl
Galvanische Beschichtung	Beschichtete Oberfläche in dm ² je Verfahren Anzahl Warenträger	Energie (Strom/Gas)	CO ₂ /dm ² [kg] CO ₂ /WT [kg]
Wärmebehandlung	Tonnage und Stückzahl	Energie (Strom/Gas)	CO ₂ /dm ² [kg] CO ₂ /1000 Stück [kg]
Sortieren/Verpacken	Stückzahl und Laufzeit	Energie (Strom)	CO ₂ /dm ² [kg] CO ₂ /Laufzeit [kg]

Tabelle 1: Energiekennzahlen zur Produktionsleistung

Die Verwertung der aufgenommenen Kennzahlen erfolgt zum einen zur unternehmenseigenen Ökobilanzierung und wird nachfolgend für Produktionsplanzungszwecke eingesetzt.



Das Bereitstellen von Kennwerten je Produktionseinheit gibt nun die Möglichkeit schon bei Angebotsabgabe zu erwartende CO₂-Emissionen anzugeben und bei der Planung von Aufträgen gesamtheitlich über alle Produktionsprozesse zusätzlich die Energiekennwerte zu berücksichtigen. Aus den ermittelten Energie/Produktionskennzahlen werden bei der Auftragsplanung jedem einzelnen Auftrag über die Stückzahlen, die Oberfläche und das Gewicht die voraussichtlichen Energieverbräuche zugeordnet werden.

Das Planungstool kumuliert über alle Produktionsanlagen den zu erwartenden Energiekonsum und visualisiert über eine Farbwarnung das Überschreiten von Grenzwerten.

Abbildung 19: Geplanter Energieeinsatz

Ausbau des SmartService auf weitere Ressourcen mit Visualisierung, unter Berücksichtigung der realen Verteilung und Inbezugsetzung mit den jeweiligen Produktionskennzahlen aus allen Bereichen und die Integration in das interne Verteilungssystem

- Energie
- CO₂
- Wasser
- Dampf

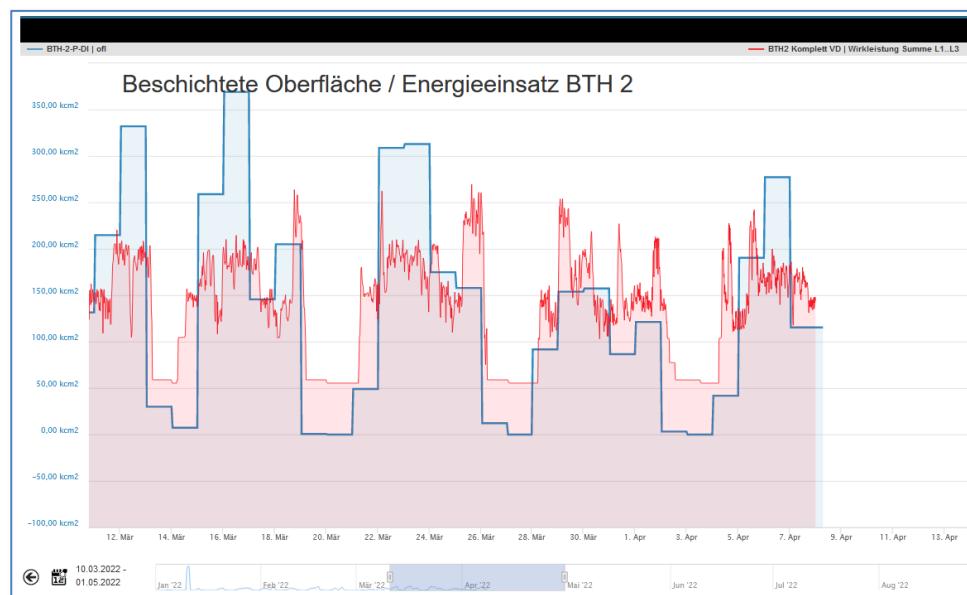


Abbildung 20: Energieeinsatz zur Oberfläche

Die Auswertung und Interpretation der Energieeinsätze (Abbildung 20: Energieeinsatz zur Oberfläche) mit den zugeordneten Produktionsergebnissen lassen wichtige Rückschlüsse auf Einsparpotentiale oder Anomalien zu, die ohne die Visualisierung nicht erkennbar wären.



Abbildung 21: SmartService: Wasserverbrauch und Produktionsleistung

Als Ausweitung des KennzahlenService finden auch der Wassereinsatz in der Oberflächenbeschichtung eine besondere Bedeutung, da mit der ganzheitlichen Systembetrachtung unter Berücksichtigung der Produktionsleistungen wichtige Zusammenhänge visualisiert interpretierbar gemacht werden. (Abbildung 21: SmartService: Wasserverbrauch und Produktionsleistung)

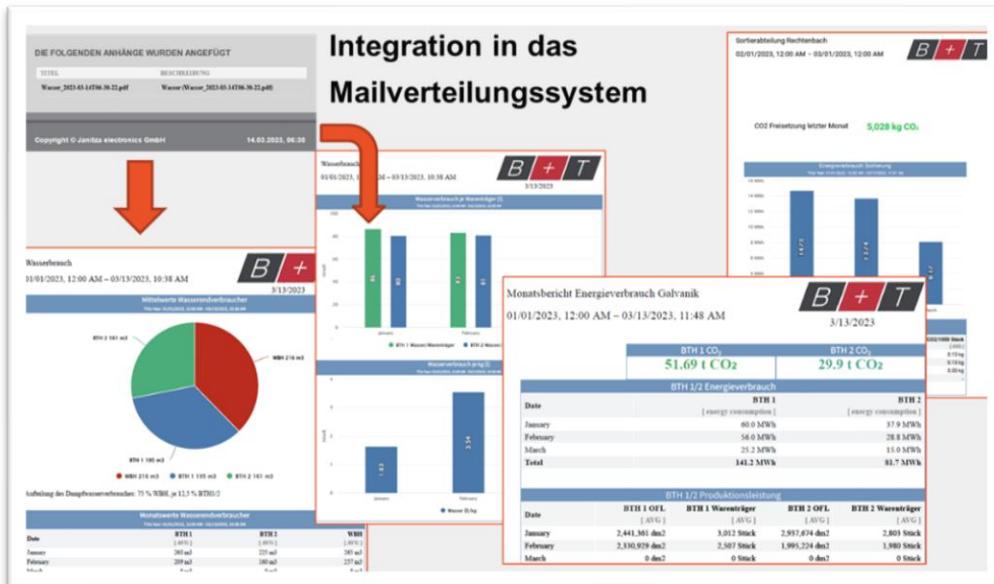


Abbildung 22: Integration der Kennzahlen in die Verteilungssysteme

Die Einbindung in die Verteilungssysteme erfolgt dann anschließend. (Abbildung 22: Integration der Kennzahlen in die Verteilungssysteme)

1.5. Integration selbst lernender Systeme in der Produktion

Nach der Aufnahme der Problemstellung und der Konzentration auf einzelne Produktionsparameterbereiche erfolgt die Datenaufnahme über die verfügbaren Datenquellen, Anlagendatenbank und die Auftragsdatenbank mit einer anschließenden ersten Sichtung der Datensätze über stark eingegrenzte Zeiträume.

anlage	zeit	time	sollwert	istwert	station
BTH2	00:37:35	21.09.2022 00:37:35	33,00	34,30	Tr 4 Pos 37,40,43 sauer Zn
BTH2	00:39:31	21.09.2022 00:39:31	33,00	34,20	Tr 4 Pos 37,40,43 sauer Zn
BTH2	00:39:32	21.09.2022 00:39:32	33,00	34,30	Tr 4 Pos 37,40,43 sauer Zn
BTH2	00:39:36	21.09.2022 00:39:36	33,00	34,20	Tr 4 Pos 37,40,43 sauer Zn
BTH2	00:39:40	21.09.2022 00:39:40	33,00	34,30	Tr 4 Pos 37,40,43 sauer Zn
BTH2	00:39:40	21.09.2022 00:39:40	33,00	34,20	Tr 4 Pos 37,40,43 sauer Zn
BTH2	00:39:41	21.09.2022 00:39:41	33,00	34,30	Tr 4 Pos 37,40,43 sauer Zn
BTH2	00:39:42	21.09.2022 00:39:42	33,00	34,20	Tr 4 Pos 37,40,43 sauer Zn
BTH2	00:39:43	21.09.2022 00:39:43	33,00	34,30	Tr 4 Pos 37,40,43 sauer Zn

Visualisierung von Zusammenhängen

Die Ergebnisse der ersten Datenerhebung sollen anschließend der Lerngalvanik des IPA Stuttgart zur Verfügung gestellt werden. Hier können dann gezielt Veränderungen oder Anomalien verstärkt oder kombiniert werden um vorausschauend die Auswirkungen auf die Prozessbadtemperatur vorherzustimmen.

Die weiteren Schritte des Projektabschnittes sollen sich dann wie nachfolgend aufgeführt unterteilen in:

- Beschreibende Statistik- Tendenzerkennung; Streuung; Korrelation und Kovarianz
- Clusteranalyse; Regression; Klassifizierung
- Dimensionsverringerung, Merkmalsextraktion
- Wahrscheinlichkeitsverteilung
- Entwicklung des Neuronalen Netzes (Abbildung 23: Schema neuronales Netz)

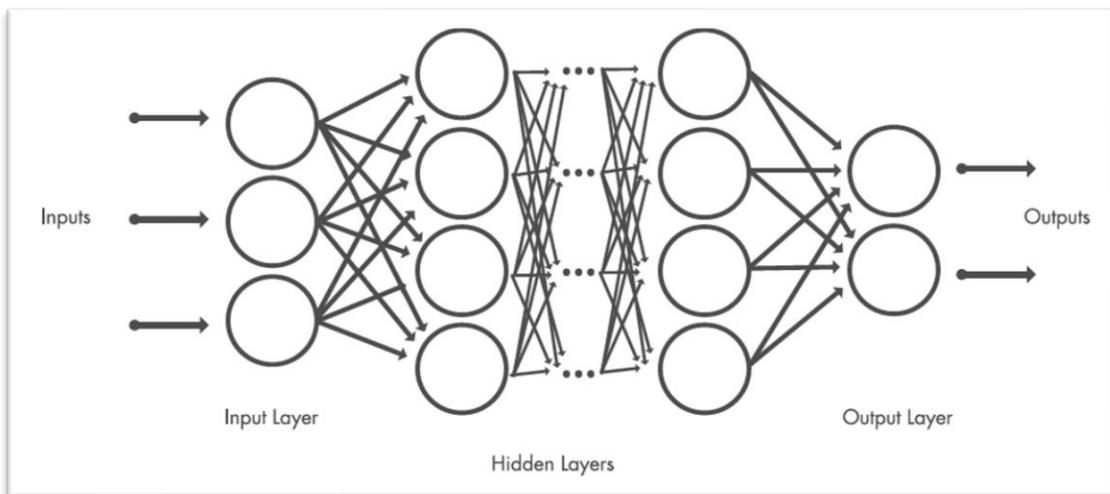


Abbildung 23: Schema neuronales Netz (Quelle: The MathWorks, Inc.)

Nach den ersten Datensichtungen wurde der Betrachtungsrahmen aufgrund der übermäßige hohen Anzahl der Datensätze und der Komplexität bei der Verknüpfung der Datentabellen der verschiedenen Quellen auf die Temperatur im ZnNi Prozessbad stark eingegrenzt.(Abbildung 24: Neuronales Netz Temperatur ZnNi Prozessbad)

Eine Betrachtung und Bewertung der vorliegenden Daten war mit herkömmlichen Reporting Tools nicht mehr durchführbar.

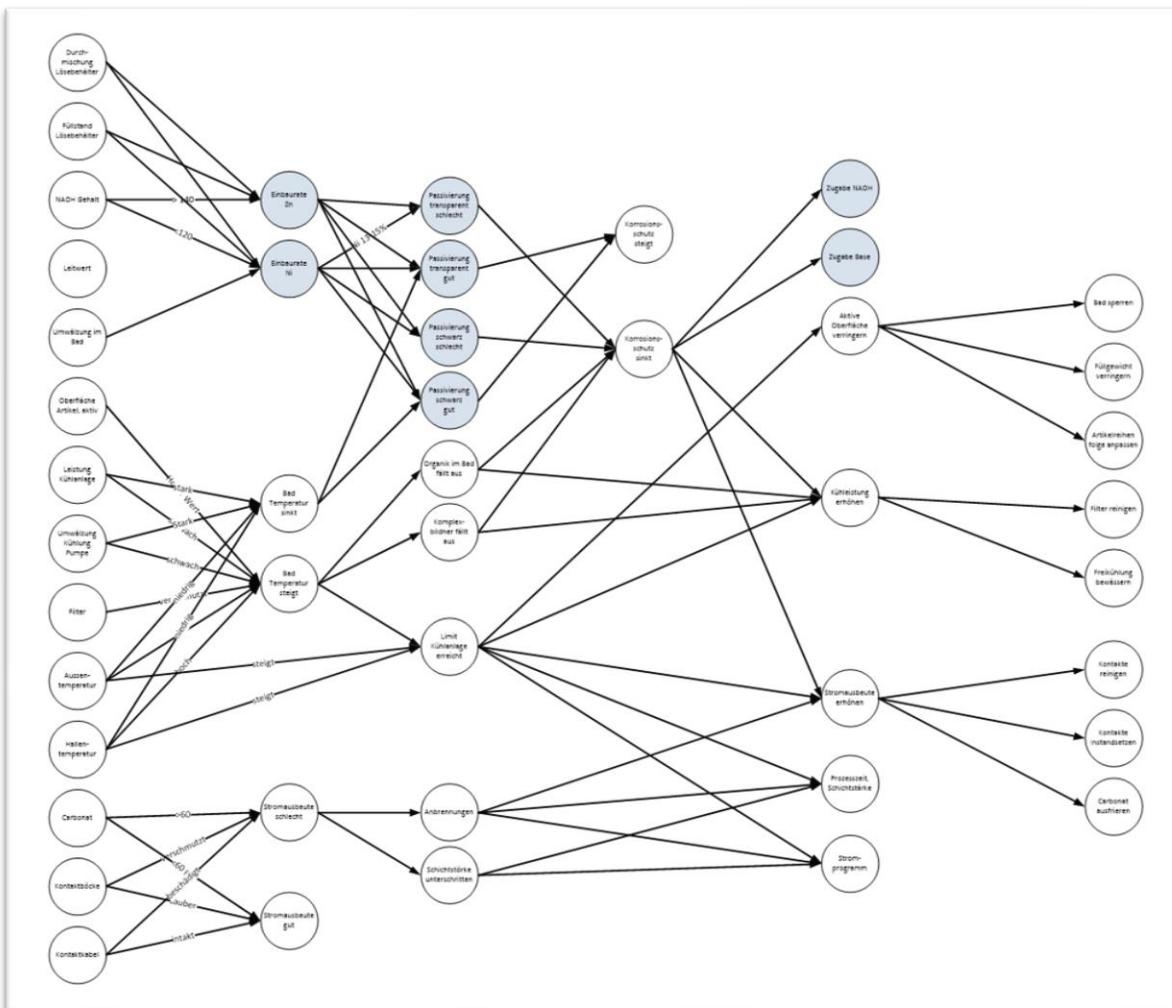


Abbildung 24: Neuronales Netz Temperatur ZnNi Prozessbad

Als Software zur Datenanalyse wurde ein open source tool verwendet um aus der Datenbank über einen Analyse Workflow Datenzusammenhänge, Trends, Anomalien o.ä. festzustellen.

Dazu wurden Teilmengen der Daten jeweils durch einen Ablauf für eine visualisierte Darstellung und Bewertung bearbeitet. (Abbildung 25: Schema der Datenaufbereitung)

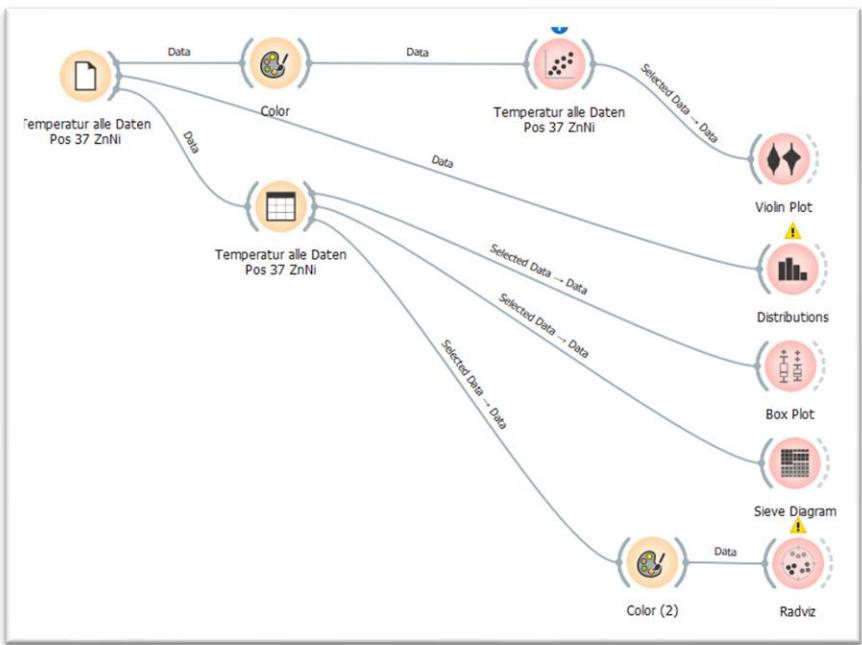


Abbildung 25: Schema der Datenaufbereitung

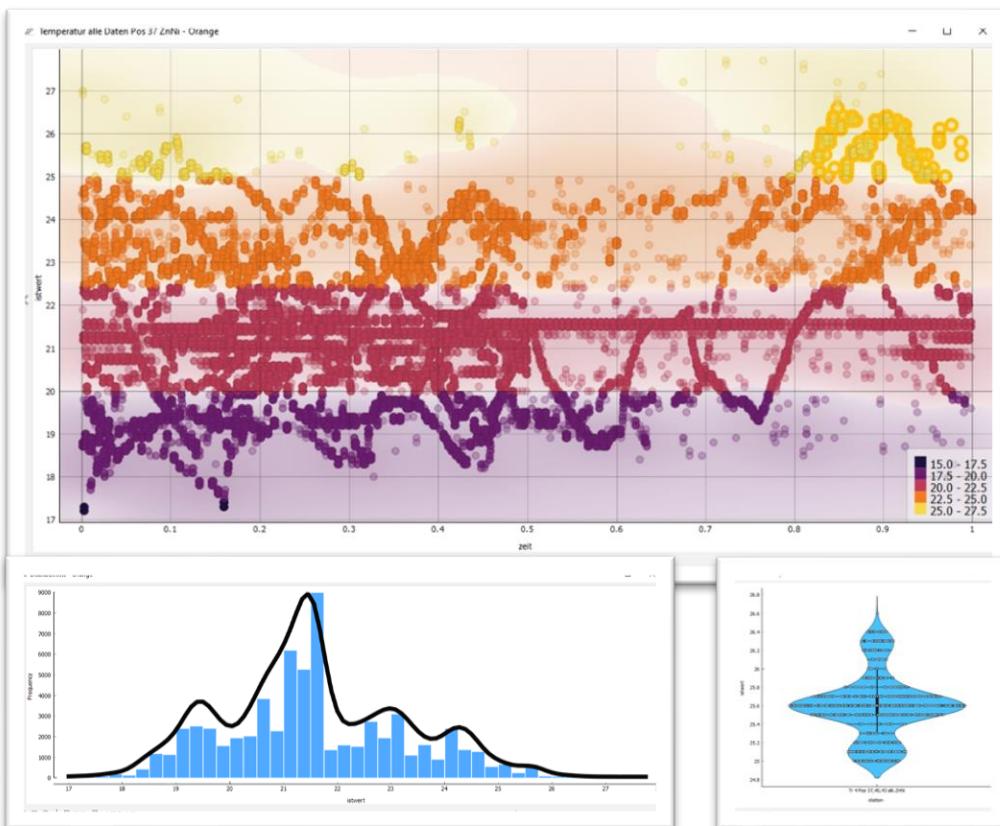


Abbildung 26: Datenvizualisierung

Eine erweiterte Bearbeitung, welche die Betrachtung und Bewertung von Produktions- und Energie-daten inkludiert war nicht realisierbar (Abbildung 27: Erweitertes Bearbeitungsschema).

Die Rechenleistung der eingesetzten Hardware, sowie die Kapazitäten der Software sind aufgrund der Datenmengen nicht mehr ausreichend um weitere Auswertungen, bzw. Korrelationen mit den Auftragsdaten und Beschichtungsergebnissen vorzunehmen.

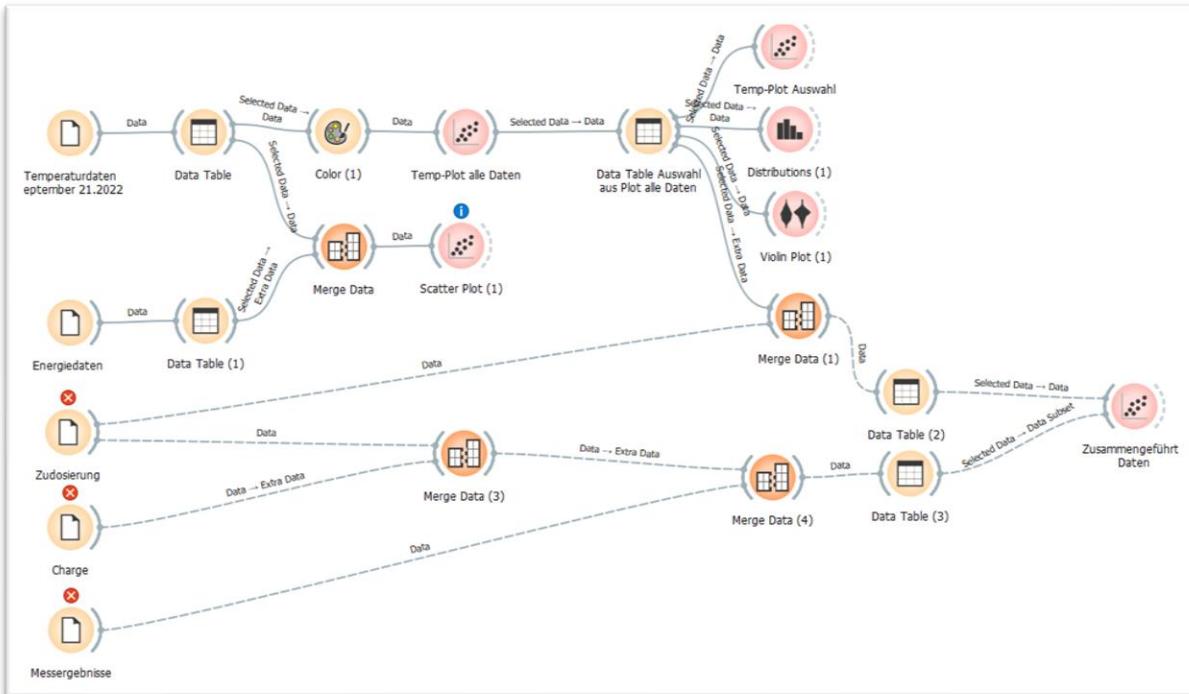


Abbildung 27: Erweitertes Bearbeitungsschema

1.6. Unterstützung und Mitwirkung bei anderen Arbeitspaketen

Bei der Entwicklung der Services wurde die Erwartungshaltung aus Sicht des Industriellen Beschichters eingearbeitet und in diversen Workshops genauer definiert.

Die Projektpartner wurden hinsichtlich Ihrer Arbeitspakete mit der Zusammenstellung von Informationen bezüglich der Industriellen Umgebung, der Galvanischen Anlage und den Produktionsabläufen mit Zeichnungen, Flowcharts und Ablaufdiagrammen unterstützt. Die Datenblätter der eingesetzten Prozessbäder wurden bereitgestellt. Zusätzlich wurden vollständige Produktionsdaten über einen gemeinsam definierten Zeitraum bereitgestellt.

Die Visualisierung der Demo-Anlage Ditec wurde bereitgestellt.

1.7. Projekt- und Arbeitstreffen

Nachfolgend sind in Tabelle 2: Projekttreffen die für das Projekt im Projektzeitraum wesentlichen Projekt- und Arbeitstreffen aufgelistet, an denen die **B+T Oberflächentechnik GmbH** beteiligt war.

Tabelle 2: Projekttreffen

Datum	Ort	Inhalt	Teilnehmende Partner
05.05.2020	WebKonferenz	Datenerfassung	B+T / TUBS/IPA
15.07.2020	Projekttreffen	Projekttreffen	B+T / TUBS/IPA/Ditec
10.09.2020	Projekttreffen	Periphere Anlagen	B+T/ Airtec
14.10.2020	Projekttreffen	Abstimmung Schnittstellen	B+T/Ditec,Softec,airtec
11.11.2020	Projekttreffen	Gesamtprojekt	alle
27.11.2020	WebKonferenz	Koordinierungstreffen Verbundprojekte	B+T
02.12.2020	WebKonferenz	Lerngalvanik	B+T / IPA
Datum	Ort	Inhalt	Teilnehmende Partner
21.08.2020	Wetzlar	Projektabstimmung; Vor-Ort Begehung des Werks und Arbeitstreffen bei B+T	IWF, IBR, TLK, Online IAT, Safety IO, B+T
15.07.2019	WebKonferenz		B+T
30.10.2019	WebKonferenz		B+T
26.11.2019	Berlin	Projektgespräch	Safety IO, B+T
27.11.2019	WebKonferenz		B+T
29.01.2020	WebKonferenz		B+T
Datum	Ort	Inhalt	Teilnehmende Partner
11.03.2022	WebKonferenz	Projektabstimmung	alle
07.04.2022	WebKonferenz	Projekttreffen	alle
12.08.2022	WebKonferenz	Projektabstimmung	alle
18.10.2022	Projekttreffen	Projekttreffen Stuttgart	B+T; IPA, alle
12.12.2022	WebKonferenz	Projektabstimmung	alle

2. Verwendung der Zuwendung

Die verwendeten Mittel entsprechen im Wesentlichen den geplanten Aufwendungen zu Projektbeginn und folgen im Projektverlauf mit dem überwiegenden Anteil an Personalaufwendungen den kalkulierten Mitteln, während bei den Sachaufwendungen das Budget geringfügig unterschritten wurde.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Im Rückblick auf das Projekt lässt sich die Notwendigkeit und Angemessenheit der durchgeföhrten Arbeiten vollumfänglich rechtfertigen. Selbst die Tätigkeiten zur Untersuchung und Integration von selbstlernenden Systemen hat sich im Hinblick auf die Erkenntnisse der Untersuchung von Datenstrukturen, dem Aufnehmen und Zusammenführen von Datenströmen sowie der systematischen Auswertung und Visualisierung haben wichtige Erkenntnisse für die weitere Vorgehensweise geleistet. Durch die

Corona-bedingte Arbeitsweise war der erhöhte Einsatz von Workshops im Rahmen von realen Projekttreffen mit dem Ziel der Förderung des verstärkten Austausches und der Fokussierung auf das Projektziel nicht durchgängig möglich, um einen bestmöglichen transferierten Nutzen der Erkenntnisse auf alle Projektteilnehmer vollständig zu gewährleisten.

4. Voraussichtliche Nutzen der Ergebnisse i.S. des fortgeschriebenen Verwertungsplans

An konkretisierten Verwertungen von Projektergebnissen sind zum einen der weitere interne Ausbau und die Nutzung der aufgebauten Informations- und Kommunikationsmethodik mit dem Ausbau auf den weiteren Standort und die Entwicklung und Darstellung weitergehender KPI's in das Unternehmensdashboard, sowie als Unterstützung bei Auditierungen und Zertifizierungen durch Kunden oder akkreditierte Institute.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden genutzt um im Rahmen einer „Go Green“-Kampagne der B+T Unternehmensgruppe die Ausgangsbasis im Rahmen der CO₂-Thematik aufzubauen.



Die systematische Weiterverfolgung der begonnenen Informationspolitik und die Adaption auf andere Produktionsbereiche bezüglich der Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung der Produktiondaten gekoppelt mit den Energieverbrauchsdaten hat bereits erste Energieeinsparpotentiale in Teilbereichen der Fertigung aufgezeigt. Mit Hilfe der gesamtheitlichen Betrachtung der Energieströme konnte im Bereich der benachbarten Wärmebehandlung der Energieverbrauch durch Anpassung der Zeitpunkte von Anlaufprozessen und Leistungsrampen beim Aufheizvorgang messbar gesenkt werden.

Ergebnisverwertung:

- Weiterer interner Ausbau und die Nutzung der aufgebauten Informations- und Kommunikationsmethodiken im Rahmen der „Go Green“-Kampagne der B+T Unternehmensgruppe als Ausgangsbasis der CO₂-Fabrikplanung.
- Die Adaption auf andere Produktionsbereiche und Medien (WBH/Sortierung) Die Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung der Produktiondaten gekoppelt mit den Energieverbrauchsdaten hat bereits erste Energieeinsparpotentiale in Teilbereichen der Fertigung aufgezeigt.
- Erfüllung von vermehrten Kundenanfragen nach differenzierten CO₂-Energieverbräuchen auf Artikelebene

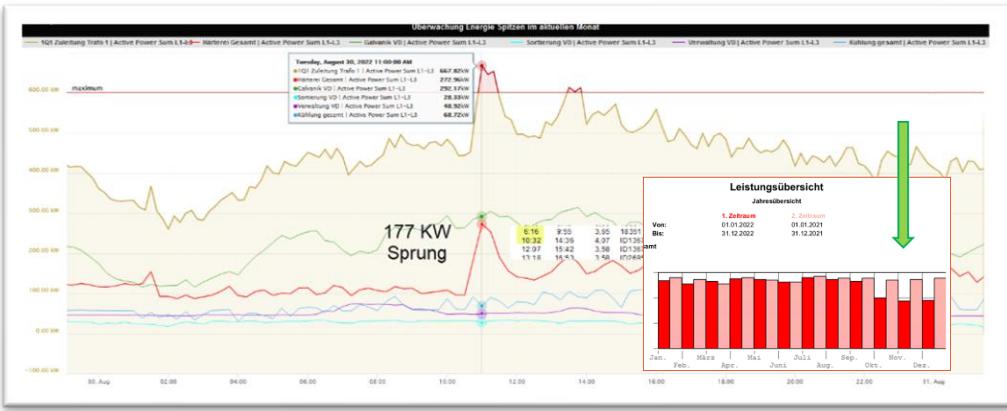


Abbildung 28: WBH Energieeinsatz zu Produktlinie

Konkret sind bereits energetische Defizite bei dem Betrieb der Wärmebehandlungsanlage ermittelt worden und erfolgreiche, bzw. messbare Verbesserungsmassnahmen zur Einsparung vorgenommen worden.(Abbildung 28: WBH Energieeinsatz zu Produktlinie) Darüberhinaus wird das um die Energiedaten erweiterte Planungstool zur energieeffizienten Auftragsplanung eingesetzt(Abbildung 29: Planungstool mit Energiedaten).



Abbildung 29: Planungstool mit Energiedaten

5. Bekannt gewordener Fortschritt auf Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen (während Projektlaufzeit)

Es liegen keine Erkenntnisse vor.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

November 2021, 8.-9. November:

Halbzeitpräsentation „High Tech meets High Touch“ WalknTalk, hybrid, mit PixlipPräsentation „SmARtPlas - Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik

Juni 2022:

Messe Surface

Gemeinschaftsstand SmARtPlas auf dem WOMag Gemeinschaftsstand

Vortrag „Verbundprojekt SmARtPlas –Intelligente Dienstleistungen für Augmented-Reality-gestützte Produktionsprozesse zur Oberflächenbeschichtung“

PR in der WOMag-Ausgabe 5-2022: [Intelligente, Augmented Reality-gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik | WOTech Technical Media | WOMag | WOClean \(wotech-technical-media.de\)](#)

Oktober 2022:

SmartHaPSSS-Workshop

März 2023:

Service Today, Ausgabe 1

April 2023:

WOMag Ausgabe 4-2023, im Rahmen der Serie, Teil B+T

Ing-Abschluss 2023:

Booklet

Juni 2023:

Abschlusskonferenz Universität Kassel: "Datenorientierte Wertschöpfung nachhaltig gestalten"

Erfahrungs-Keynotes aus der Praxis: Daten und der Wandel von Wertschöpfung

Frank Benner, B+T Oberflächentechnik GmbH

AP 6: Sachbericht von Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)

Dr.-Ing. Peter Schwanzer und Dr.-Ing. Stefan Kölle

Teil I: Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Das Ziel des Verbundvorhabens ist die prototypische Entwicklung von Smart Services für die Galvanotechnik. Die vorausschauende Wartung von eingesetzten Elektrolyten, Anlagenkomponenten und peripheren Systemen sowie der Einsatz von Augmented Reality (AR) Technologien sollen entwickelt werden.

Das Teilvorhaben "Lernfabrik Galvanotechnik" hat das Ziel, Konzepte für die vorausschauende Wartung zu definieren, entwickeln und deren Umsetzung in der Lernfabrik zu validieren. Die Lernfabrik soll, so weit möglich, alle Aspekte einer Galvanikanlage im Kontext von Industrie 4.0 abbilden und sowohl im Verbundvorhaben als auch darüber hinaus als Plattform zur Datenerfassung und Validierung verschiedenster Prozess- und Anlagenparameter in Forschungs- und Industrieprojekten dienen. Der Einsatz der Lernfabrik als Demonstrator für Unternehmen, Mitarbeiter und Auszubildende / Studenten ist ein weiteres Ziel des Projektes

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Im Rahmen der digitalen Transformation ergeben sich für Unternehmen eine Vielzahl von Herausforderungen, aber auch Möglichkeiten. Für den Bereich der Galvanotechnik sind bei der Plattform I4.0 aktuell noch keine Testzentren bekannt. [1] Ebenso sind aus der Fachliteratur für diesen Bereich keine Beispiele ermittelbar, vorhandene „Best Practice Examples“ wurden mit anderen Schwerpunkten aufgebaut. [2] Für eine Ausführung mit dem Schwerpunkt Industrie 4.0 wird ein modularer Aufbau mit u. a. Assistenz, Lern und cyberphysischen Systemen beschrieben. [3] Eine einheitliche Vorgabe für den Aufbau einer Lernfabrik besteht somit nicht, die Ausgestaltung erfolgt im Kontext der Schwerpunkte und Ziele.

Die Wartung und Führung von galvanischen Beschichtungsprozessen erfolgen nicht nach einem einheitlichen Konzept. Aus technischer Sicht stehen für Erfassung von Daten zum Zustand des Elektrolyten und der Anlage eine Vielzahl von Sensoren und Analysegeräte zur Verfügung. Aufwändiger ist die chemische Analytik, die von einfacher manueller Laboranalytik über eine automatisierten pH-Kontrolle bis hin zu vollautomatisierten Analysegeräten mit automatisierter Probenentnahme reichen kann. Physikalische Daten (z. B. Strom, Spannung) zum Beschichtungsprozess werden über das MES gesammelt. Ergebnisse der Schichtcharakterisierung (Schichtdicke, -zusammensetzung o. ä.) werden häufig im ERP System mit den Auftragsdaten verknüpft. Eine Zusammenführung aller physikalischer und chemischer Prozessparameter erfolgt in der Regel nicht. Die Wartung kann aus technischer Sicht auf Basis von Messwerten reaktiv erfolgen. In der betrieblichen Praxis der meisten Beschichtungsunternehmen (Lohn- und Betriebsgalvaniken) kann aus wirtschaftlichen Gründen nicht auf alle technischen Möglichkeiten zurückgegriffen werden.

Elektrolyte sind komplexe Lösungen, die aus einer Vielzahl von Substanzen bestehen. Die Nachdosierung der verbrauchten Zusatzchemikalien der Verfahrenslieferanten erfolgt zwischen den Analysen meist auf Basis einer Amperestunden-Steuerung, die sich an der beschichteten Fläche orientiert. Diese Art der Steuerung berücksichtigt einen Verbrauchsmittelwert, der die tatsächlich beschichteten Bauteile außer Acht lässt. Korrekturen im Rahmen der monatlichen Analysen sind daher notwendig. Eine exaktere Elektrolytführung, die einen bauteilspezifischen Chemikalienverbrauch auf Basis von Verschleppung, Schichteinbau, elektrochemischem Abbau und Verdunstung berücksichtigt, lassen Modelle der Stoffbilanzierung zu wie sie von Hauser [4] und auch von Leiden et al. und Kölle et al. [5, 6] im Rahmen des ZIM-Netzwerkprojekt REOnet-GroßAuto entwickelt wurden.

3. Plan und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)

Der Start des Projekts und die ersten Monate verliefen nach Plan, mit Beginn der Covid-Pandemie kam es auch am Institut zu einem eingeschränkten Betrieb, welcher insbesondere Laborarbeiten betraf und diesbezüglich zu Verzögerungen führte. Die physischen Umbauten an der Lerngalvanik konnten trotz Pandemie und geänderten Lieferketten überwiegend nach Plan durchgeführt werden, leichte Verzögerungen konnten durch Nutzung eingeplanter Puffer kompensiert werden. Durch die verzögerten Laborarbeiten wurden jedoch auch die Versuche in der Lerngalvanik später gestartet, wodurch sich die experimentellen Arbeitspakte 6.2 und 6.3 verlängerten. In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde das Vorhaben kostenneutral um sechs Monate verlängert. Für eine bessere Validierung der Lösung zur Elektrolytwartung, auch der Projektpartner, wurde diese mit Fokus auf nur ein Elektrolytsystem, dafür jedoch deutlich umfangreicher und detaillierter durchgeführt.

4. Wesentliche Ergebnisse im Überblick

Durch den Aufbau der Lerngalvanik mit den einbezogenen Systemen steht eine Versuchsplattform für die Digitalisierung der Galvanotechnik zur Verfügung, welche auch als Demonstrator dient. Erste Anwendungen wurden im Rahmen des Vorhabens entwickelt und umgesetzt bzw. integriert:

- Weiterentwicklung der Algorithmen zur Elektrolytwartung und Weiterführung der Anylogic-Simulation (mit Projektpartner IWF TU Braunschweig)
- Implementierung von Algorithmen zur Elektrolytwartung in der Steuerungssoftware und deren Validierung (mit Projektpartner DiTEC)
- Implementierung der AR-App des Projektpartners Softec mit Echtzeitanbindung an die Steuerung der Lerngalvanik (mit Projektpartnern Softec und DiTEC) – Lerngalvanik als permanenter Demonstrator
- Erzeugung von Daten und Erarbeitung von Ansätzen für die optimierte Überwachung der Strom- und Spannungszustände an galvanischen Bädern
- Nutzung der Versuchsplattform Lerngalvanik für erste Ansätze des maschinellen Lernens

Die Ergebnisse werden in weiteren Vorhaben genutzt (Institutsinternes Projekt zum Maschinellen Lernen in der Galvanotechnik) oder es sind bereits weiterführende Arbeiten geplant (Optimierte Überwachung der Strom-/Spannungszustände).

5. Ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Innerhalb des Projektkonsortiums wurde wie geplant mit den Projektpartnern zusammengearbeitet, auf Seite der Industriepartner insbesondere mit DiTEC (Umrüstung der Lerngalvanik), Softec (Integration AR-App) und B+T Oberflächentechnik (Elektrolytsystem, Beschichtungsparameter und Musterteile für praxisnahe Bedingungen) sowie auf Seite der Forschungsinstitute mit der TU Braunschweig (Simulation, Elektrolytwartung). Durch das IAT der Universität Stuttgart wurde über die Planungen hinaus ein 3D-Rundgang für die Lerngalvanik erstellt. Der Austausch mit den Projektpartnern erfolgte in regelmäßigen Abständen und nach Bedarf.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)	Förderkennzeichen: 02K18D111
Förderprogramm: Internetbasierte Dienstleistungen für komplexe Produkte, Produktionsprozesse und -anlagen (Smart-Services)	
Titel des Vorhabens: Intelligente Dienstleistungen für Augmented-Reality-gestützt Produktionsprozesse zur Oberflächenbeschichtung (SmARtPlaS); Teilprojekt: Lernfabrik Galvanotechnik – Entwicklungsplattform für vorausschauende Wartung von Prozess- und Anlagentechnik	
Projektleiter/ Projektleiterin: Dr.-Ing. Peter Schwanzer	Tel.: 0711 970-1209 E- Mail: peter.schwanzer@ipa.fraunhofer.de
Laufzeit des Vorhabens von: 01.10.2019	bis: 31.03.2023

Teil II: Eingehende Darstellung

1. Ausführliche Darstellung durchgeföhrter Arbeiten (im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)

AP 6.1 Konzept und Ertüchtigung zur Lernfabrik Galvanotechnik

In diesem Arbeitspaket wurde entsprechend des Arbeitsplans die Grundgestaltung der Lerngalvanik entwickelt und anschließend umgesetzt. Die Planung umfasste im Wesentlichen zwei Hauptaspekte: Gesamtkonzeption der in der Lerngalvanik zu verknüpfenden Systeme sowie die Ermittlung und Definition notwendiger Arbeiten für den Aufbau bzw. die Modernisierung dieser Systeme. Zielsetzung hierbei war eine möglichst realitätsnahe Abbildung der in einer industriellen Produktion beteiligten Systeme bei gleichzeitiger Einbindung neuer Lösungen aus dem Vorhaben. Es wurden mit den Projektpartnern die Anforderungen bezüglich deren Systeme (ERP-System Omnitec von Softec, MES-System ProGal von DiTEC mit Voraussetzungen für die Anbindung der neuen Anlagen-SPS) abgestimmt und in Absprache mit B+T die Grundkonzeption einer Trommeltechnik gewählt, welche für die Beschichtung von Serienteilen geeignet ist. Die in AP 6.2 und 6.3 zu Vorhabenbeginn identifizierten Anforderungen wurden in der Konzeption eingearbeitet.

Anhand der Konzeption wurde die Realisierung durchgeführt und die benötigten Definitionen / Lastenhefte erstellt, anhand derer die verschiedenen Systeme der Lerngalvanik aufgebaut oder modernisiert wurden. Der vorhandene Kleingalvanikautomat wurde bezüglich der elektrischen Komponenten umfangreich modernisiert, um ein Betrieb mit ProGal zu ermöglichen. Außerdem wurden er mit zusätzlichen Sensoren und einer Trommeltechnik ausgerüstet, was einige mechanische Umbauten erforderte. Zur Abbildung einer Qualitätssicherung wurde ein Gerät zur Schichtdicken- und Legierungsmessung (Röntgenfluoreszenzanalyse) beschafft, welches dem aktuellen Hard- und Softwarestand entspricht und mit dem ERP-System Omnitec verbunden werden kann.

AP 6.2: Konzeption und Aufbau für die vorausschauende Elektrolytwartung

Ziel des Arbeitspakets war die Entwicklung von Algorithmen und Modellen zur vorausschauenden Wartung von Elektrolyten zur galvanischen Schichtabscheidung. Motivation bei der Gestaltung des Systems war es eine Elektrolytführung in engeren Grenzen und mit einer erhöhten Beschichtungsqualität zu ermöglichen. Als Beispiel für die Umsetzung eines solchen Systems wurde im Projekt in Absprache mit den beteiligten Industrieunternehmen abweichend vom ursprünglichen Plan ein Zinkelektrolyt anstelle eines ZnNi- und eines Nickelelektrolyten betrachtet. Die geplante Analyse auf Basis von mechanistischen und phänomenologischer Basis wurde bezogen auf den Elektrolyten betrachtet. Wie in der Vorhabenbeschreibung dargestellt, wurde zunächst Bilanzierungsmodelle allgemein und im speziellen für den untersuchten Zinkelektrolyten aufgestellt. Nach Inbetriebnahme der Lerngalvanik wurde eine Vielzahl von Versuche zur Abscheidung von Zinkschichten im Trommelverfahren und auf Gestellen durchgeführt, um Daten für das Verhalten der einzelnen Elektrolytbestandteile zu generieren. Die Versuche wurden nicht nur für die chemische Analytik genutzt, mit der die Verbrauchskennzahlen gebildet werden konnten, sondern auch für die Analyse des Einflusses aller Beschichtungsparameter auf die Schichtegenschaften. Die Auswertung erfolgte, wie in der Vorhabenbeschreibung dargestellt, mittels Ansätzen aus dem Maschinellen Lernen, sowohl am IPA selbst, als auch beim IWF. Des Weiteren wurden Langzeitversuche im 4 l Maßstab am IPA durchgeführt, um mittels chemischer Analytik ein besseres Verständnis für den (elektro)chemischen Verbrauch von Elektrolytbestandteilen entwickeln zu können. Die Daten wurden mit dem IWF geteilt und flossen in deren Simulationsmodelle ein. Im weiteren Projektverlauf wurden zusammen mit der Firma DiTEC ein Konzept zur Durchführung von speziellen Messwochen etabliert, bei der im Rahmen einer engen Zusammenarbeit Versuche zur Datengenerierung durchgeführt wurden. Die Daten aus diesen Versuchen wurden sowohl am IPA, am IWF als auch bei DiTEC genutzt, um die Bilanzierungsmodelle zu überprüfen und zu verbessern.

AP 6.3 Konzeption und Aufbau für die vorausschauende Komponentenwartung

Anhand von Workshops im Gesamtprojektkonsortium wurden potenziell interessante und relevante Ansätze für die Komponentenwartung bei Galvanikanlagen bzw. deren Peripherie diskutiert. Aus diesen Diskussionen und anhand von theoretischen Vorberichtigungen zu möglichen Ansätzen wurden für dieses Teilvorhaben im Umsetzungsrahmen der Lerngalvanik sinnvolle Hardwarekomponenten identifiziert, der Hauptfokus wurde dabei auf Ansätze für die Anoden- / und Kathodenkontakte gelegt. Geeignete Ausführungen für Sensoren wurden über Recherchen ermittelt und bei der Ertüchtigung der Anlage

in AP 6.1 integriert und zur Datenerfassung eingebunden. Anhand der in AP 6.2 und 6.4 durchgeföhrten Beschichtungen wurden Daten mit generiert und analysiert, um mögliche Ansätze zu prüfen.

AP 6.4 Übertragung, Betrieb und Validierung in der Lernfabrik

Dieses Arbeitspaket wurde genutzt, um die Entwicklungen (sowohl aus AP 6.2 als auch von anderen Partnern, insbesondere DiTEC und Softec) in die Lerngalvanik zu integrieren und weiter zu vertiefen. Im Zuge des Betriebs wurden eine Vielzahl von Beschichtungen durchgeföhrt, welche zur Datengewinnung und zur Validierung der Ansätze genutzt wurde. Fokus war hierbei die Stoffbilanzierung / vorausschauende Elektrolytwartung. Im Rahmen des Betriebs und der Validierung wurden die Lösungen weiterentwickelt und optimiert. Für die Begleitung der experimentellen Arbeiten wurden mit hoher Frequenz die Verfahrensanalytik durchgeföhrt, um eine breite Datenbasis für den Abgleich des physischen Systems mit den modellierten Lösungen zu gewährleisten.

2. Erzielte Ergebnisse

AP 6.1 Konzept und Ertüchtigung zur Lernfabrik Galvanotechnik

Kernpunkt der Lerngalvanik ist der modifizierte Kleingalvanikautomat, welcher über sechs Aktivbäder im 60 l-Maßstab mit zugehörigen Spülen, Speicherplätzen und Transportwagen verfügt und ein Warenfenster von 300 mm x 300 mm x 150 mm aufweist. Es können bis zu drei Beschichtungselektrolyte gleichzeitig betrieben werden. Bei der Modernisierung wurde die Elektrik auf eine Siemens-SPS umgestellt, welche industriellem Standard entspricht – die Programmierung wurde durch den Projektpartner DiTEC neu erstellt. Neben der funktionalen Standardsensorik wurden zusätzliche Sensoren integriert, so wurden für AP 6.3 zwei Bäder mit zusätzlichen Stromsensoren für Anoden- und Kathodenschienen ausgerüstet. Die Ausstattung mit erweiterter Sensorik erfolgt vor dem Hintergrund der modernen Möglichkeiten zur Datenauswertung und der Prüfung, welche Messwerte einen Mehrwert für den Anlagenbetrieb aufweisen.

Die Anlagensteuerung wurde mit dem MES-System ProGal des Projektpartners DiTEC ausgestattet und ist somit vergleichbar mit Industrieanlagen. Neue Funktionen für ProGal konnten im Rahmen von AP 6.4 in der Lerngalvanik getestet werden. Darüber hinaus wurde zusätzlich zur existierenden Gestelltechnik die Möglichkeit zur Beschichtung mittels Trommel nachgerüstet. Um einen aufwändigeren Umbau zu vermeiden, wurden ein akkubetriebenes Kleintrommelaggregat ergänzt, welches zur Schüttgutbeschichtung von Mengen bis zu 1,5 kg ausgelegt ist (Abbildung 1).



Abbildung 1: Kleingalvanikautomat mit nachgerüsteter Trommel

Die eigentliche Galvanikanlage ist aber nur ein Teil einer galvanischen Produktion, daher wurden für die Lengalvanik noch weitere Systeme berücksichtigt und integriert (Abbildung 2). Die notwendige chemische Analytik als diskontinuierlicher Prozess wird in externen Geräten am Institut durchgeführt, die entstehenden Daten fließen jedoch in die Lengalvanik mit ein. Zur Nachstellung einer Produktion wurde das ERP-System Omnitec des Projektpartners Softec mit integriert, was eine realitätsnahe Abbildung der Erfassung von Fertigungsschritten erlaubt. Dies wurde insbesondere bei der Einbindung der Qualitätsdaten genutzt, da durch die Erstellung von Prüfaufträgen und die Direktverbindung von Messmitteln (Röntgenfluoreszenzanalyse zur Schichtdicken- und ggfs. Legierungsmessung) die Daten direkt verknüpft werden können.

Zusätzlich wurden die in AP 6.2 betrachtete Elektrolytwartung mit der Simulation sowie Erweiterungen für die Neuentwicklungen von Projektpartnern vorgesehen.

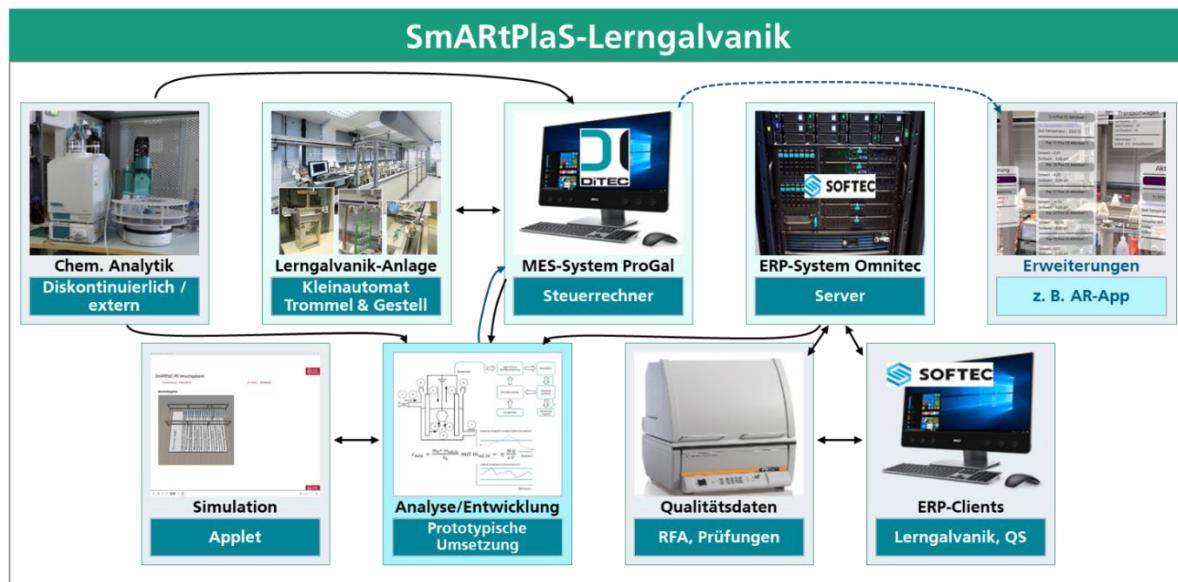


Abbildung 2: Bestandteile der Lengalvanik mit Verknüpfungen / Datenaustausch

AP 6.2: Konzeption und Aufbau für die vorausschauende Elektrolytwartung

Ergebnisse zum Smart-Data-Ansatz

Wie zuvor bereits dargestellt, war das Ziel des Arbeitspakets die Entwicklung von Algorithmen und Modellen zur vorausschauenden Wartung von Elektrolyten zur galvanischen Schichtabscheidung. Die Pflege und Instandhaltung der Elektrolyte stellt für Beschichtungsunternehmen eine große Herausforderung dar, für die die Digitalisierung neue Lösungsansätze bietet.

Die regelmäßige Analyse von Elektrolytbestandteilen und die daraus abgeleitete Elektrolytwartung bedarf einer hohen personellen Kapazität, der entsprechenden Kompetenz und apparativer Ausstattung. Sie haben einen großen Einfluss auf die Qualität der Beschichtung.

Dabei lässt sich die Analytik noch in externe und interne Untersuchungen einteilen. Die organischen Zusätze, die den Glanz oder die Härte der Beschichtungen beeinflussen, müssen in den meisten Fällen extern analysiert werden. Dazu werden üblicherweise Elektrolytproben in größeren zeitlichen Abständen, zum Beispiel monatlich, an ein externes Labor versendet, um die Konzentrationen der Zusätze zu bestimmen. Basierend auf den Analyseergebnissen werden dann Anpassungen und Nachdosierungen vorgenommen. Andere Elektrolytbestandteile, wie bspw. der Gehalt der Metallionen werden häufig im Unternehmen selbst überwacht und für die Elektrolytwartung eingesetzt.

Im Rahmen des ZIM-geförderten Projekts REOnet-GroßAuto entwickelten das IFF der Universität Stuttgart, das Fraunhofer IPA und das IWF der TU Braunschweig bereits Ansätze für einen digitalen Elektrolyt-Zwilling. Dieser basierte auf Modellen zur Massenbilanzierung von Elektrolytbestandteilen. Der innovative Ansatz des digitalen Elektrolyt-Zwillings, der in SmARTPlaS nun konsequent weiterverfolgt wurde, besteht darin, dass die Stoffbilanzierungsmodelle in einem Simulationsmodell der Galvanikanlage, auf Basis eines digitalen Zwilling, mit allen Verfahrensschritten abgebildet werden. Dabei wird die Bilanzierung deutlich vereinfacht, indem komplexe chemische Reaktionsmodelle aus Gründen der Benutzerfreundlichkeit weggelassen und durch vereinfachte Parametrierungen und Klassifizierungen

ersetzt werden. Im Simulationsmodell sollen zukünftig reale Aufträge abgebildet werden können, sodass mithilfe der Stoffbilanzierungsmodelle die Elektrolytkonzentrationen berechnet werden können.

Um eine vollständige Abbildung von Elektrolyten im digitalen Elektrolyt-Zwilling zu ermöglichen wurden im Projekt SmARtPlaS die Stoffbilanzierungsmodelle auf nun insgesamt zehn Bilanzgrößen erweitert, um die Änderung an einem Elektrolyten möglichst vollständig abbilden zu können.

Ein Kernelement des Ansatzes zur Stoffbilanzierung bezieht sich im Besonderen auf die Trommelbeschichtung, bei der die Verschleppung einen besonders hohen Anteil an der Konzentrationsänderung pro Beschichtungscharge aufweist. Bereits im Projekt ZIM REOnet GroßAuto wurden gemeinsam mit dem IWF und B+T Verschleppungskategorien definiert, mit denen beliebige Teile einer Verschleppungs menge pro Teil zugeordnet werden können. Mit diesem Ansatz lassen sich zukünftig bereits beim Anlegen von neuen Produktdaten dem zu beschichtenden Teil eine Verschleppungskategorie zuordnen, ohne dass eine aufwendige experimentelle Bestimmung vorgenommen werden muss.

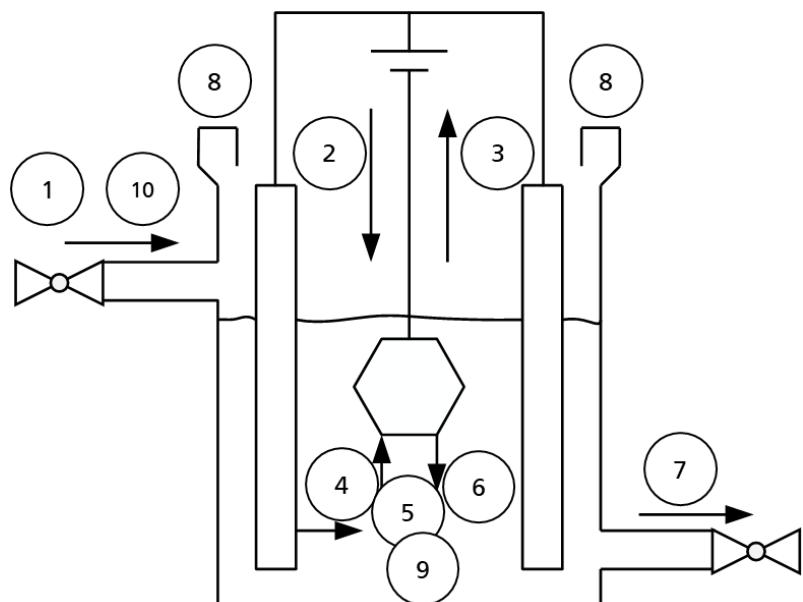


Abbildung 3: Ein- und Ausgangsgrößen des Stoffbilanzierungsmodells

In Abbildung 3 sind die zehn Ein- und Ausgangsgrößen des hinter dem Elektrolyt-Zwilling stehenden Stoffbilanzierungsmodells dargestellt. Zu den betrachteten Eingangsgrößen, die die Konzentration der betrachteten Stoffe erhöhen, gehören bspw. die Nachdosierung, die Anodenauflösung und die Einschleppung aus vorgelagerten Prozessschritten. Zu den Ausgangsgrößen, die eine Minderung einer Stoffkonzentration zur Folge hat, gehören zum Beispiel die Verschleppung, die Schichtabscheidung in Abhängigkeit der Stromausbeute, der elektrochemische Abbau von organischen Zusätzen sowie die Verdunstung. Eine eingehende Darstellung des Stoffbilanzmodells findet sich in. [7]

Um ein präzises Simulationsmodell zu erstellen, ist es entscheidend, Daten zu generieren, mit denen die Stoffbilanzierung parametriert werden kann. Dies wird durch eine versuchsbegleitende chemische Analytik erreicht, bei der der spezifische Verbrauch der einzelnen Elektrolytbestandteile experimentell bestimmt wird. Die verwendeten Bezugsgrößen sind dabei Amperestunde, eine Trommel oder aber trivial zeitbasiert, wenn ein Stoff ohne Beschichtungsprozess verbraucht bzw. abgebaut wird. Im Rahmen des Projekts wurde zu Generierung dieser Daten spezielle Messwochen konzipiert (vgl. Abbildung 4).

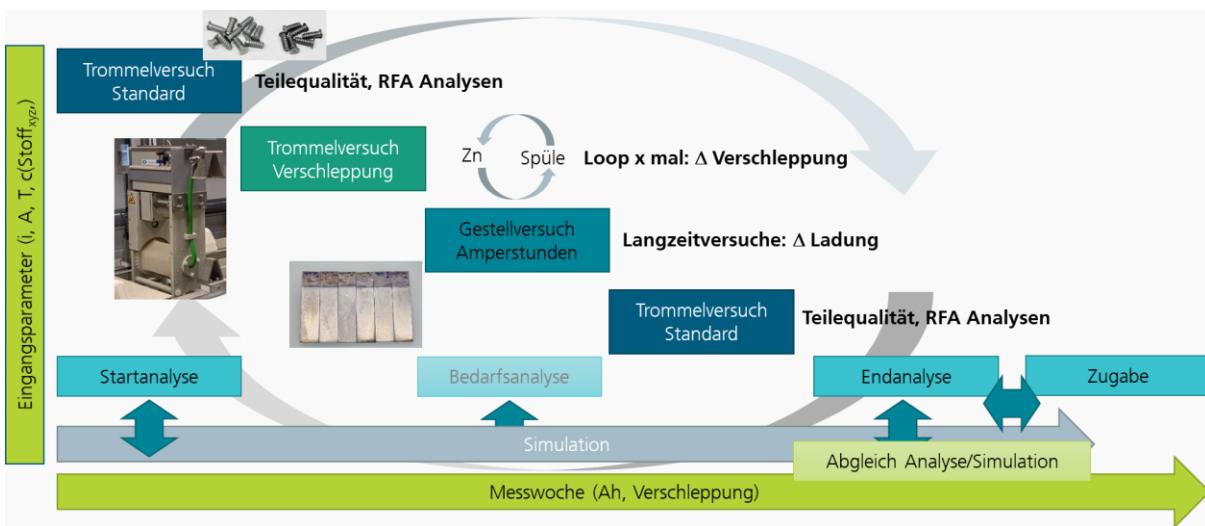


Abbildung 4: Konzept der Messwoche zur Ermittlung von Parametern für die Simulation

Innerhalb dieser Wochen wurden Standardversuche, Loop-Versuche und Langzeitversuche durchgeführt. Bei den Loop-Versuchen wurde die Beschichtungsdauer auf wenige Minuten begrenzt und stattdessen mit gleicher Trommelfüllung nach den Spülungen immer wieder in den Beschichtungsprozess zurückgefahren, um eine möglichst hohe Verschleppung in kurzer Zeit zu generieren. Bei den Langzeitversuchen wurden Bleche, die im Prinzip keine Verschleppung verursachen, über mehrere Stunden beschichtet, um eine genaue Veränderung pro Amperestunde beobachten zu können. Damit ließen sich (elektro)chemische Vorgänge besser analysieren. Ergänzt wurden diese Versuche durch vorangestellte Langzeitversuche im 4 l Maßstab, bei denen ebenfalls die Veränderung der Elektrolytbestandteile bezogen auf die geflossene Ladung anhand chemischer Analytik ermittelt werden konnte.

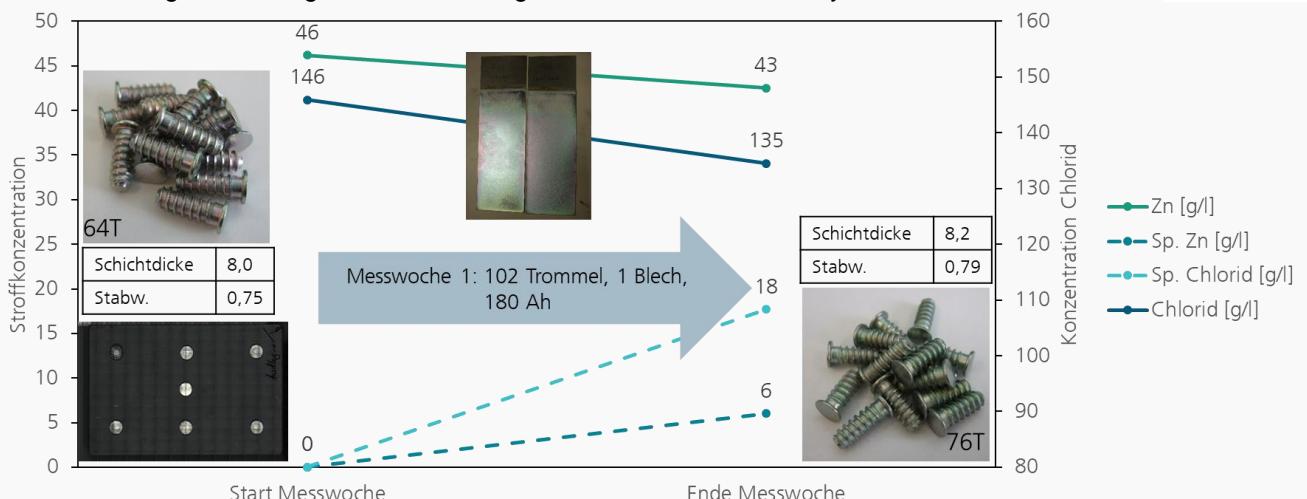


Abbildung 5: Auswertung einer Messwoche mit Daten aus chemischer Analytik und Röntgenfluoreszenzanalyse

Mit Hilfe der chemischen Analytik lässt sich damit ermitteln, wie sich die Konzentration einer Substanz in Abhängigkeit einer Bezugsgröße (Amperestunde, Trommelfüllung, Zeit, ...) verändert wird (vgl. Abbildung 5). Die Generierung dieser Daten ist in der Lerngalvanik einfacher umzusetzen. Ein Teil der so gewonnenen Daten lässt sich bezogen auf ein Verfahren auch verallgemeinern. Zukünftig könnten beispielsweise Vorversuche in der Lerngalvanik durchgeführt werden und dann anschließend die Validierung der Berechnungen in der industriellen Umgebung erfolgen. Dadurch werden die Vorarbeiten erleichtert und die Übertragung in die Produktion verkürzt.

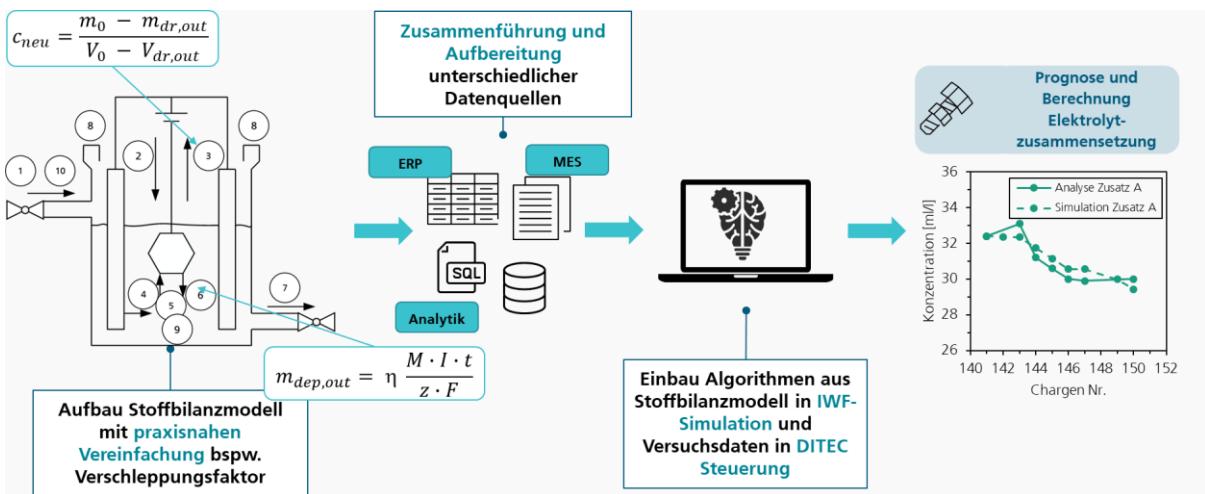


Abbildung 6: Konzeption und Vorgehensweise beim Aufbau des digitalen-Elektrolytzwillings

Abbildung 6 verdeutlicht die Konzeption und die Vorgehensweise beim Aufbau des digitalen Elektrolytzwillings, die in den letzten Abschnitten vorgestellt wurde, als Gesamtdarstellung.

Im Rahmen des Projekts wurden mehrere solcher Messwochen durchgeführt, um ausreichend Daten zu generieren, um ein digitales Abbild eines sauren Zink-Verfahrens zu erstellen. Im Folgenden werden beispielhafte Ergebnisse aus der Simulation im Vergleich mit der chemischen Analytik dargestellt.

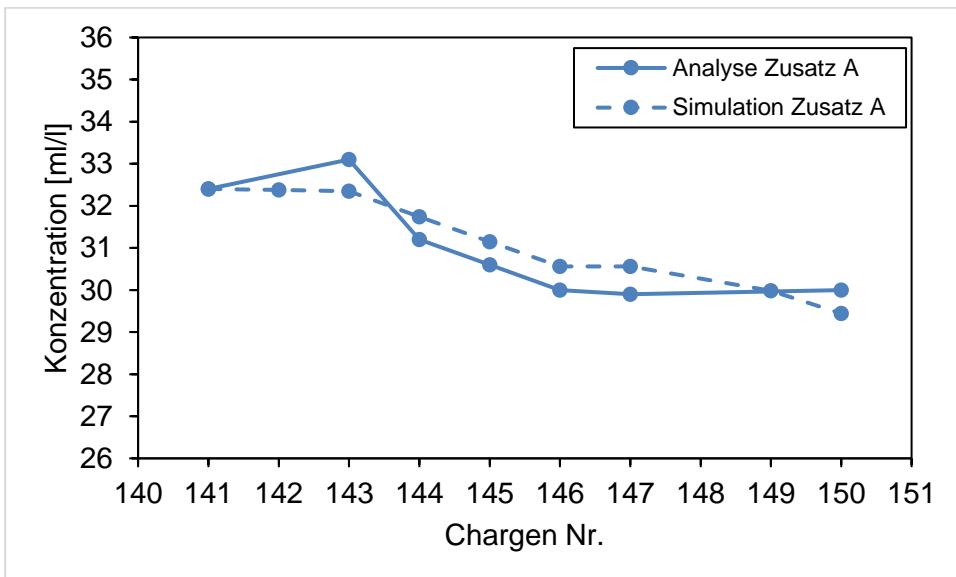


Abbildung 7: Ergebnisse aus Messwoche 1: Vergleich von Analyse- und Simulationswerten für Zusatz A des Zinkelektrolyten

Besonders interessant für die Funktionsfähigkeit der Simulation waren die Berechnungen für die organischen Zusätze, die mutmaßlich von den Beschichtungsunternehmen nicht selbst analysiert werden können. Abbildung 7 zeigt den simulierten Verlauf eines Zusatzes (gestrichelte Linie) im Vergleich zum analysierten Konzentrationsverlauf (durchgezogene Linie) im Verlauf einer Messwoche. Dabei zeigt sich tendenziell eine gute Übereinstimmung der beiden Kurven. Gerade im Bereich zwischen Charge 144 bis 147 sind die Konzentrationsänderungen nahezu identisch. Fehler bei der Abbildung des realen Konzentrationsverlaufs im Elektrolyten müssen nicht nur bei der Simulation auftreten. Am Beispiel in Abbildung 7 bei Charge 143 lässt sich der Unterschied zwischen Simulation und Analyse eher auf übliche Ungenauigkeiten in der Analytik zurückführen, da die Konzentration von Zusatz A von Charge 141 zu Charge 143 zunimmt, obwohl keine Nachdosierung vorgenommen wurde.

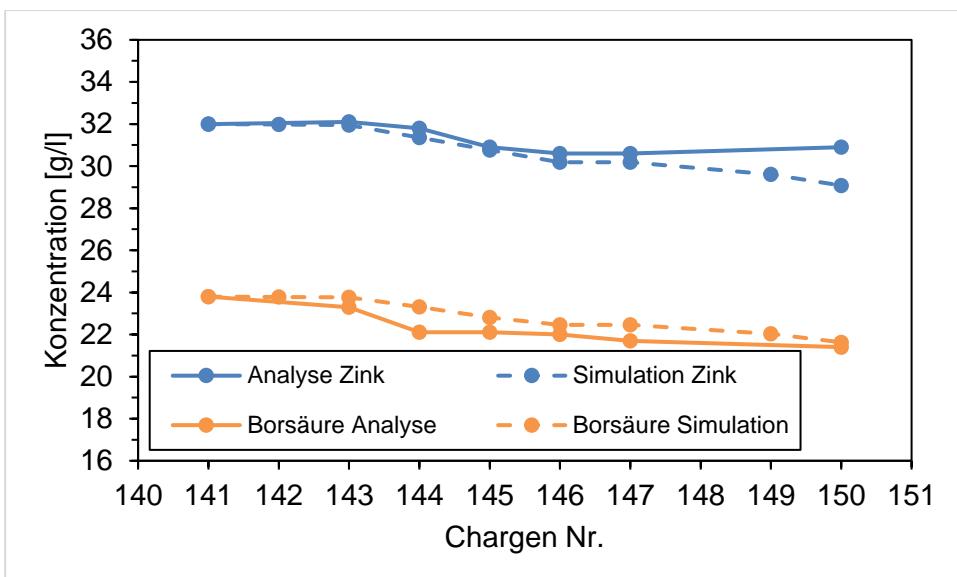


Abbildung 8: Ergebnisse aus Messwoche 1: Vergleich von Analyse- und Simulationswerten für Zink und Borsäure

In Abbildung 8 sind jeweils die simulierten und analytisch bestimmten Konzentrationen von Borsäure und Zink aufgezeichnet. Bei der Simulation der Zinkkonzentration sind die anodischen und kathodischen Stromausbeuten besonders zu berücksichtigen, die zwischen Gestell- und Trommelbeschichtungen differieren können. So nimmt die Zinkkonzentration bei einer Trommelbeschichtung ab, da die Verschleppung einen größeren Anteil an der Konzentrationsänderung hat, als die Differenz aus der elektrochemischen Zinkbilanz. Weiterhin ist bei einer Gestellbeschichtung mit einer Zunahme der Zinkkonzentration zu rechnen, da die anodische Stromausbeute höher ist als die kathodische. Die Zinkkonzentration verändert sich auch zwischen Beschichtungen durch chemische Auflösung der Zinkanoden. Auch hierfür lassen sich mit wenigen Versuchen die richtigen Werte ermitteln, um das Simulationsmodell zu parametrisieren und für neue Verfahren oder Anlagen anzupassen. Zum Vergleich sind in Abbildung 8 die simulierten und analysierten Konzentrationen von Borsäure aufgeführt. Die Konzentrationsänderungen bei der Borsäure beruhen maßgeblich auf der Verschleppung. Die beiden Kurven haben einen vergleichbaren Verlauf und enden mit einer sehr geringen Abweichung von 0,2 g/l nach der Messwoche. Für den Praxiseinsatz wäre dies eine ausreichende Genauigkeit und vergleichbar mit Abweichungen, die auch in der chemischen Analytik auftreten.

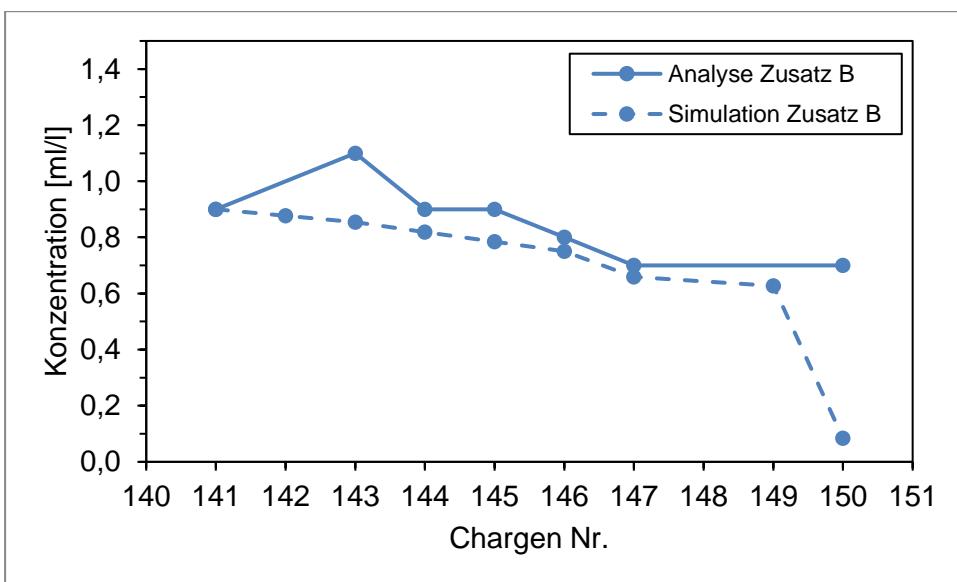


Abbildung 9: Ergebnisse aus Messwoche 1: Vergleich von Analyse- und Simulationswerten für Zusatz A des Zinkelektrolyten

Einen weiteren Abgleich zwischen Simulation und chemischer Analytik zeigt Abbildung 9. Hier sind die Konzentrationsänderungen eines organischen Zusatzes aufgeführt, der sich nur mit hohem apparativem Aufwand analysieren lässt. Für die Parametrierung der Simulation wurden die oben genannten Versuche im 4 l Maßstab herangezogen. Anschließend wurden die Daten in die Simulation integriert und mit den anderen Bilanzgrößen kombiniert. Daraus ergab sich eine recht gute Überdeckung von Simulation mit der Analytik. Bei Charge 143 ist wie oben auch mit einem zu hohen Wert aus der Analytik zu rechnen. Der Abfall in Charge 150 ist auf eine Fehlberechnung in der Simulation zurückzuführen und soll an dieser Stelle zeigen, dass ein regelmäßiger Abgleich mit Analysewerten notwendig und sinnvoll ist, um Fehler zu entdecken und die Modelle weiter zu verbessern. Es ist auch denkbar eine automatisierte Bewertung der Simulationsergebnisse vorzunehmen, mit der bspw. erkannt werden kann, wenn ein Wert sich ungewöhnlich verändert hat. Das Maschinelle Lernen wäre ein geeignetes Werkzeug, um sowohl Abweichungen bei der chemischen Analyse als auch bei der Simulation ohne manuellen Eingriff und Überprüfung kenntlich zu machen, so dass darauf reagiert werden kann. Dies könnte Gegenstand weiterer Forschungsprojekte sein, um die Qualität der Beschichtung weiter zu verbessern.

Durch einen solchen Smart Data-Ansatz lässt sich damit die Transparenz bei der Elektrolytführung deutlich erhöhen. Mit Hilfe der simulierten Stoffkonzentrationen wird zukünftig die Lücke zwischen den Messpunkten der chemischen Analytik geschlossen. Damit lassen sich Elektrolyte in engeren Toleranzen fahren, was die Qualität verbessert und Ressourcen schont.

Ergebnisse zum Big-Data-Ansatz

Neben dem modellbasierten Ansatz zur Elektrolytwartung wurden im Rahmen von SmARtPlaS die entstandenen Daten weiter genutzt und unter dem Gesichtspunkt des maschinellen Lernens spezielle Versuchspläne durchlaufen. Ziel war hierbei, die Grundlagen für die Auswertung der entstehenden Daten über Methoden des maschinellen Lernens zu schaffen und erste Modelle zu trainieren. Dies wurde auf Basis der Programmiersprache Python in JupyterLab / JupyterNotebook realisiert.

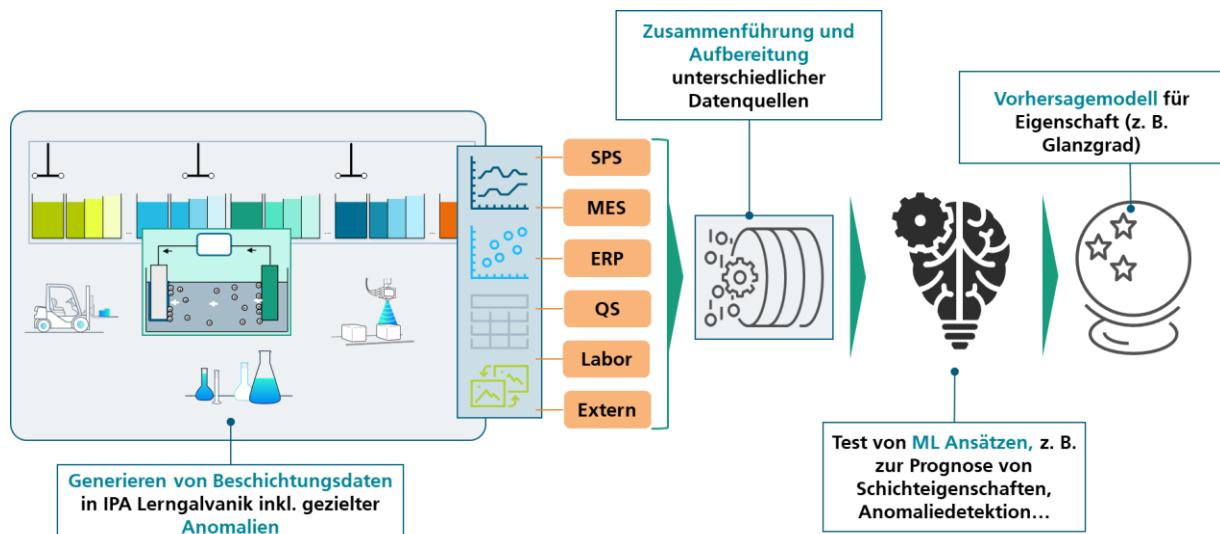


Abbildung 10: Prinzipielle Darstellung des Ansatzes zum Maschinellen Lernen in der Lerngalvanik

Der erste Schritt bestand dabei in der Zusammenführung der Daten aus den unterschiedlichen Quellen, hierfür wurden aus Datenbanken des MES-Systems die Sensordaten und Sollvorgaben der Chargen mit den Messwerten aus der QS und den chemischen Analysen verknüpft. Der Umgang mit Daten unterschiedlicher Auflösungen bedingt dabei einige Herausforderungen in der Vervollständigung der Datensätze. Für die Bestimmung der Elektrolytparameter wurden daher für die normale galvanische Prozessführung atypisch die Zusammensetzung analysiert, um eine möglichst homogene Datenbasis zu erhalten. Nach der Datenaufbereitung stehen sowohl Sollparameter, Sensordaten als auch Messwerte für die Auswertung zur Verfügung. In einem ersten Modell wurde auf Basis von physikalischen und chemischen Eingangsparametern ein einfaches Modell zur Prognose der Schichteigenschaften (Schichtdicke, Optik) erstellt. Das einfache Modell wurde hier bewusst gewählt, um die Vorgehensweise bezüglich Datenaufbereitung in der Lerngalvanik zu prüfen und um die Ergebnisse und die Modellqualität gut einschätzen zu können.

Wie beschrieben, ist die Vervollständigung der Datensätze mit Sensor oder Analysedaten sehr aufwändig. Entweder müssen kostspielige Analysen in deutlich kürzeren Abständen durchgeführt werden – wie

hier im Rahmen des Projektes – oder Analysen können gar nicht oder nur extern erfolgen. Hier bietet sich die große Chance der Smart Data-Ansätze in Kombination mit der Auswertung großer Datensätze an. Mit dem digitalen Elektrolytzwillig sollen zukünftig Lücken in den Datensätzen mit digital generierten Werten geschlossen und damit vervollständigt werden, um so die bestmöglichen Ergebnisse im Maschinellen Lernen zu erzielen.

AP 6.3 Konzeption und Aufbau für die vorausschauende Komponentenwartung

Aus den Workshops ergaben sich diverse Komponenten, welche für eine vorausschauende Komponentenwartung relevant sind. Im Rahmen der Lerngalvanik boten sich direkte, galvanikspezifische Schwerpunkte an, daher wurde der Fokus auf Anoden- und Kontaktzustände gelegt. In Kombination mit AP 6.2 wurde zusätzlich die messtechnische Überwachung des Verschleppungsvolumens über den Füllstand diskutiert.

Auf Grund der geringen Verschleppungsmengen war eine präzise Erfassung unklar – eine Prüfung wurde mit den Projektpartnern dennoch abgestimmt, um unter den Bedingungen der Lerngalvanik das Potenzial einschätzen zu können. Durch die anlagentechnischen Bedingungen in der Lerngalvanik (Behälter mit Überlaufabteil, was die messtechnisch erfasste Füllstandänderung verstärkt, relativ hohe Verdrängung im Verhältnis zum Elektrolytvolumen) erschien eine messtechnische Umsetzung zumindest potenziell möglich. Ein kontinuierlich messender Sensor wurde recherchiert (kapazitiv) und im ersten Behandlungsbad (Ultraschallentfettung) nachgerüstet. Dort fährt die Ware trocken ein und nach Behandlung nass aus, bei Erfassung des Füllstands ergibt die Differenz dieser Werte die Verschleppmenge. Um zusätzliche Einflüsse durch Verdunstung und Nachdosierung zu minimieren, wurde für das Ein- und das Ausfahren jeweils die Füllstanddifferenz gebildet und gegenübergestellt (Abbildung 11). Die erfassten Sensordaten wurden auf unterschiedliche Arten ausgewertet, bei der Implementierung des Sensors wurde durch DiTEC die Erfassung einprogrammiert und über geloggte Punktwerte dokumentiert (Abbildung rechts). Da der Sensorwert jedoch speziell beim Ausheben der Ware tendenziell träge reagiert, wurde anhand der erfassten Rohdaten weitere Auswertungen durchgeführt, welche eine Mittelwertbildung (links) und einen stark erhöhten Offset beim Ausfahren (mittig im Diagramm) beinhalten.

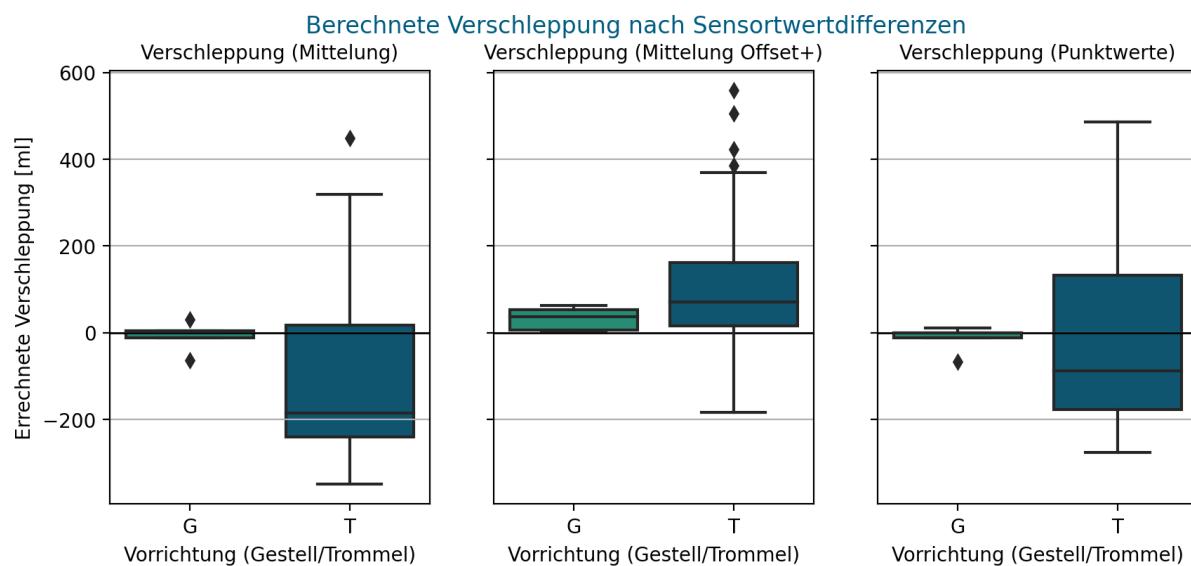


Abbildung 11: Ergebnisse Verschleppungsermittlung über Sensormesswerte

Wie anhand der Daten ersichtlich ist, schwanken die ermittelten Werte für die einzelnen Chargen und sind stark abhängig vom Zeitpunkt, welcher für die Bewertung herangezogen wird. Werte mit negativer Verschleppung widersprechen den physikalischen Zusammenhängen und sind eindeutige Fehler im Gesamt-Messsystem. Bei hohem Offset zum Ausfahrzeitpunkt kann bei großer Datenbasis ein grober Richtwert abgeleitet werden, eine praktische direkte Ermittlung einer Verschleppung zur aktuellen Charge ist über die genutzte Messtechnik jedoch nicht zuverlässig möglich.

Zur genaueren Untersuchung der Anoden- und Kontaktzustände wurden für die Elektrolytische Entfettung und das Beschichtungsbad jeweils sechs Stromsensoren nachgerüstet, welche die verschiedenen

Einspeisepunkte an die Anodenschienen (vier Sensoren) und den Warenträger (zwei Sensoren) erfassen. Bei den Sensoren basieren auf der Erfassung des Magnetfelds und wurden Minimierung einer gegenseitigen Beeinflussung zusätzlich mit μ -Metall geschirmt. Die Ausrüstung an zwei Badstationen wurde vorgenommen, um einen möglichen Unterschied zwischen den Elektrodenarten mit zu erfassen – die Elektrolytische Entfettung ist mit unlöslichen und damit wartungsärmeren Edelstahlelektroden bestückt, für die Zink-Beschichtung werden lösliche Zinkpellets in Titankörben genutzt, welche regelmäßig gefüllt werden müssen und sich im ungünstigen Fall inhomogen auflösen.

Die Auswertung der Daten zeigt diesbezüglich bei den löslichen Anoden eine deutlich höhere Streuung als bei der Elektrolytischen Entfettung (Abbildung 12). Die direkte Ursache kann bisher aus den Daten nicht ermittelt werden, da dies eine Vielzahl von Faktoren beinhaltet (Anodenkorbfüllung, Kontakt des Anodenkorbs auf der Schiene, Verschmutzungen, Verkabelung), es besteht Potenzial hinsichtlich einer Anomalieerkennung. Eine Einschränkung ist im Aufbau der Lerngalvanik zu berücksichtigen, durch die geringen Badabmessungen werden deutlich weniger Anodenkorbe eingesetzt als in einer Industrieanlage – Effekte können daher leichter detektiert werden bzw. kommen stärker zur Geltung. Die Abweichungen auf Kathodenseite sind durch den asymmetrischen Aufbau der Trommel bedingt, jedoch können auch hier Ausreißer ermittelt werden.

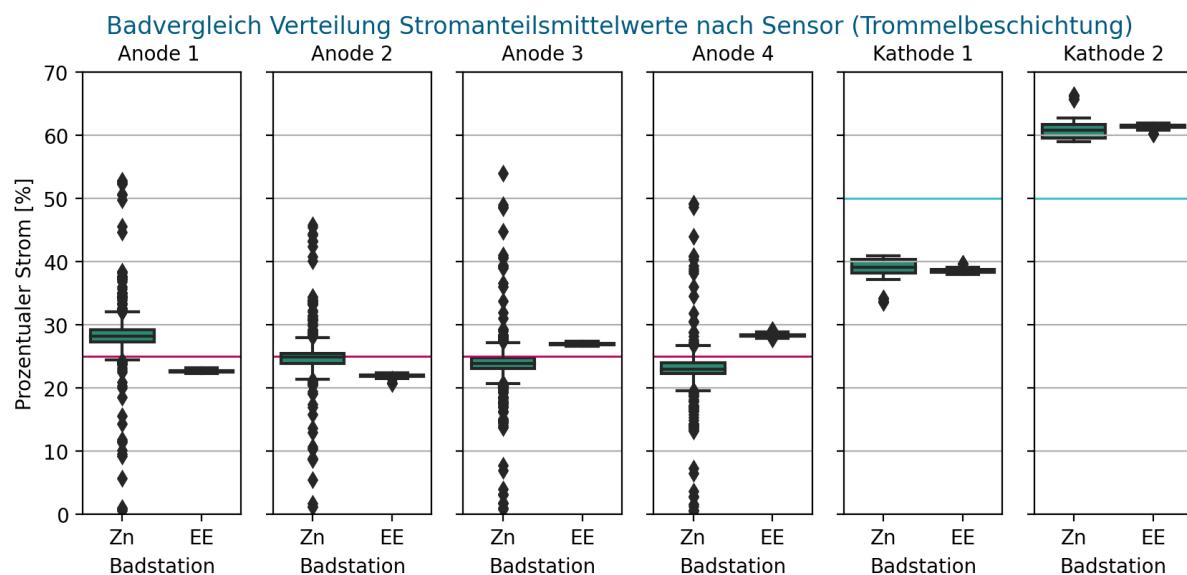


Abbildung 12: Verteilung der Strommittlerwerte bei Beschichtungen auf die einzelnen Stomsensoren. Vergleich zwischen Zinkbad (Zn) und Elektrolytischer Entfettung (EE). Horizontale Linien (rot – 25 % und blau – 50 %) markieren theoretischen Sollwert bei homogenem Stromfluss an allen Sensoren.

Überwiegend wurden die Beschichtungen mit der Trommel durchgeführt, zur genaueren Untersuchung einzelner Einflussparameter und deren Erfassungsmöglichkeiten wurden mit einem einfachen Blechgestell gezielt Anomalien erzeugt (Abbildung 13). Dabei konnte nachgewiesen werden, dass auch geringe Veränderungen erfasst werden können. Dies betrifft auch die Gestellsituation, wie die „Referenz“-Werte im Diagramm für Gestelle 1 und 7 zeigen, hier sind die Abweichungen durch leicht unterschiedliche Montage am Warenträger zu erklären (übrige Messungen wurden mit unverändertem Gestell durchgeführt).

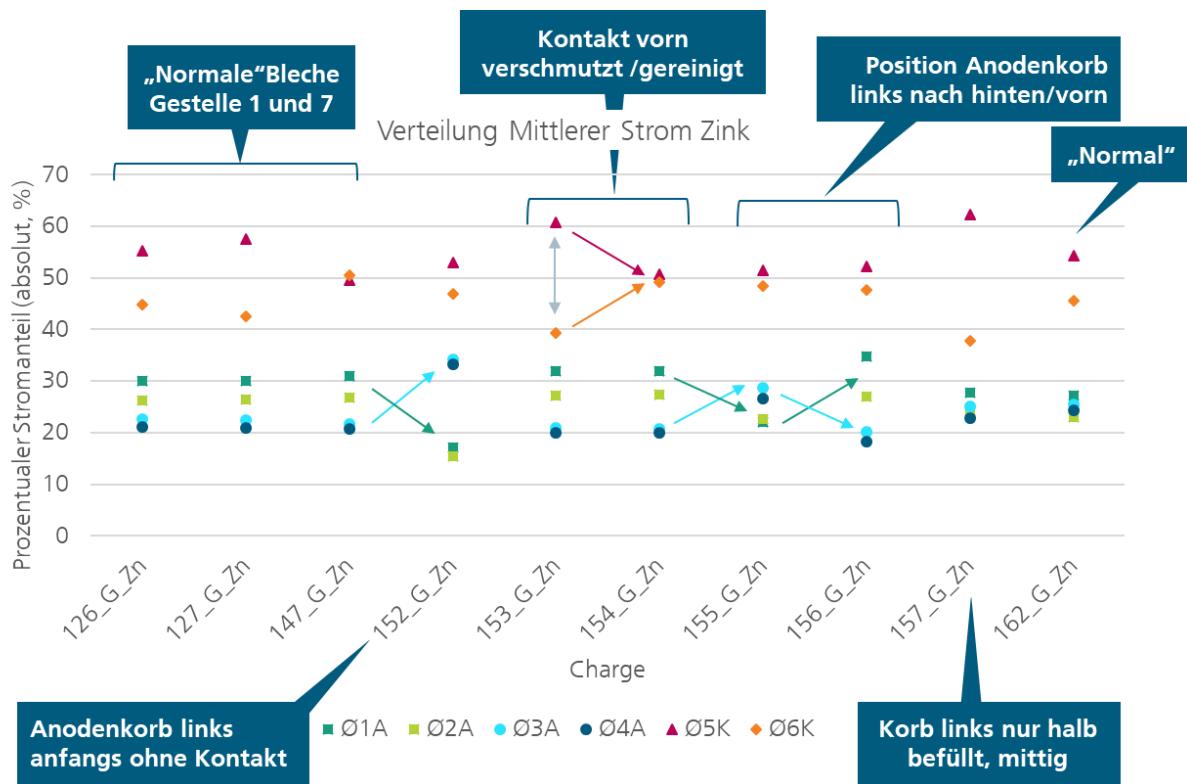


Abbildung 13: Auswirkung verschiedener Anomalien auf die erfassten Stromanteile (Sensoren 1-4 an Anoden, Sensoren 5 und 6 für Kathode)

AP 6.4 Übertragung, Betrieb und Validierung in der Lernfabrik

Im Rahmen des letzten Teilarbeitspakets wurden die Ansätze und Entwicklungen aus dem Arbeitspaket 6.2 vertieft und zusätzliche Daten für die Auswertung von AP 6.3 generiert. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind in den Kapiteln zu den jeweiligen Arbeitspaketen enthalten.

Darüber hinaus wurden Entwicklungen der Projektpartner Softec und DiTEC in die Lerngalvanik integriert und dort getestet. Gemeinsam mit DiTEC wurden in mehreren umfangreichen Validierungskampagnen die in ProGal entwickelte Stoffberechnung erstmalig an einem realen Beschichtungselektrolyten getestet und in verschiedenen Entwicklungsstufen die erfolgten Änderungen geprüft. Hierfür wurden ähnlich zu den Messwochen gezielt Beschichtungen mit unterschiedlichen Parametern durchgeführt und intensiv analytisch begleitet, um einen möglichst detailliert aufgelösten realen Verlauf zu erhalten. Zur Erzeugung relevanter Verschleppmengen wurden wiederum Loop-Versuch mit den einzelnen Referenzbeschichtungen kombiniert, zur Gegenprüfung der Verschleppung wurden gleichzeitig die Spülbäder des Zinkbads als Standspülen betrieben und mit analysiert. Die Analyseergebnisse wurden DiTEC zur detaillierten Auswertung übermittelt, für den Abgleich dieser Ergebnisse wird auf den betreffenden Berichtsteil in Arbeitspaket 2 verwiesen.

Die Validierungswochen wurden auch für die Beurteilung der Anylogic-Simulation mit dem Projektpartner IWF (TU Braunschweig) genutzt (siehe Ergebnisse AP 6.2 und Berichtsteil des Projektpartners). Die von Softec entwickelte AR-App wurde in die Lerngalvanik übertragen. Anhand definierter Datenvorgaben für die anzuseigenden Tafeln wurde durch DiTEC eine initiale Konfiguration für den Echtzeit-Datenaustausch mit der ProGal-Steuerung erstellt. Anhand dieser Konfiguration konnten die Datentafeln in der Lerngalvanik platziert und die APP somit eingeführt werden.

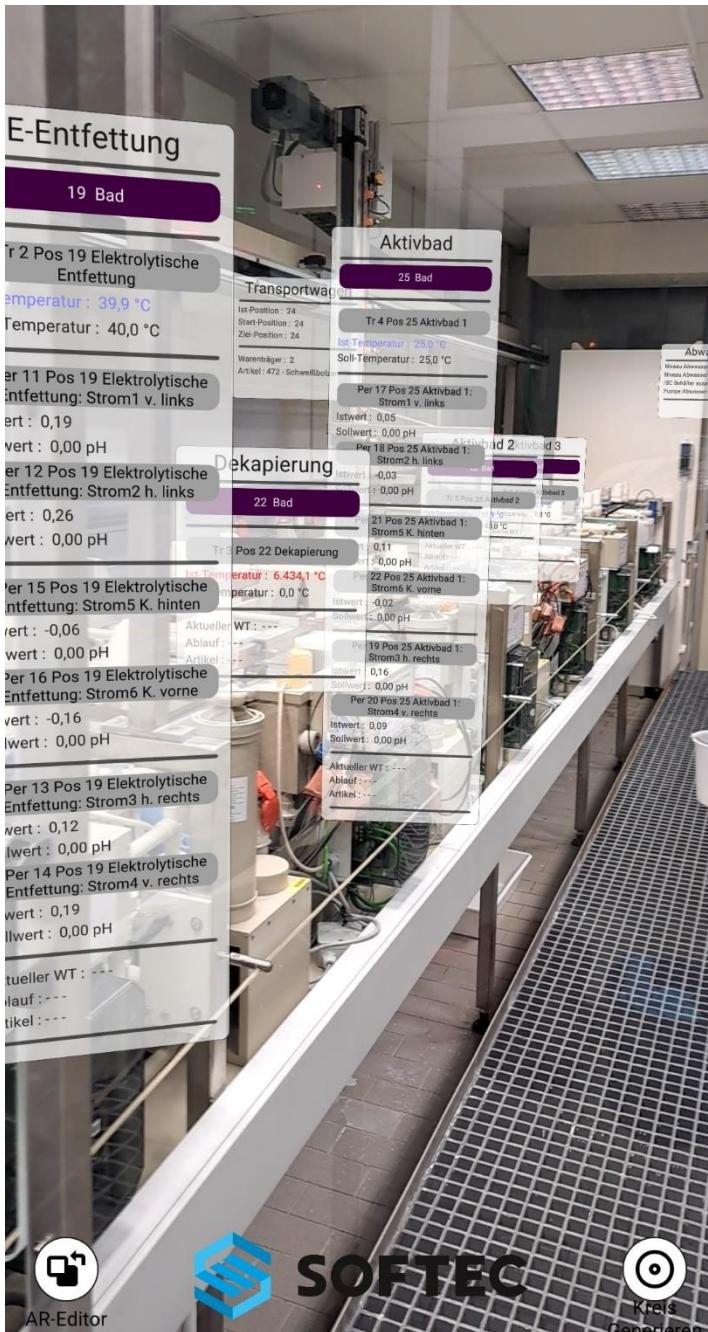


Abbildung 14: Screenshot der AR-App in der Lerngalvanik

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde das Vorgehen für den Betrieb der Lerngalvanik und der Daten-aufbereitung und -auswertung weiterentwickelt, so dass diese nun als Entwicklungsplattform auch über das Vorhaben hinaus mit gleichen oder anderen Schwerpunkten weiter genutzt werden kann. Die integrierten Lösungen, insbesondere die AR-App, können in relevanter Umgebung demonstriert werden. Dies wurde zum Projektende hin auch bereits zur Präsentation über das Projektkonsortium hinaus genutzt.

3. Verwendung der Zuwendung

Für die Durchführung der Arbeiten wurden Mittel für wissenschaftliches Personal, technisches Personal (Durchführung Beschichtungsversuche, Anlagenbetrieb, chemische Analytik) und studentische Hilfskräfte (Versuchsdurchführung) benötigt. Für die experimentellen Arbeiten fielen Sachkosten für Verbrauchsmaterialien / Hilfsstoffe und Chemikalien an. Für den Aufbau der Lerngalvanik wurden wie im Antrag geplant Sachkosten für den Umbau des Kleingalvanikautomaten (Kosten für Komponenten und

Durchführung der Elektrikarbeiten durch eine externe Fachfirma) dessen anschließenden Betrieb (Ersatzteile) sowie für die Beschaffung eines neuen Röntgenfluoreszenzanalyse-Geräts benötigt. Für Besprechungen und Workshops im Rahmen des Vorhabens und die Verbreitung der Ergebnisse durch Vorträge auf Tagungen und Messen sind Reisekosten angefallen.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die durchgeführten Anlagenmodifikationen und Neubeschaffungen waren im Antrag vorgesehen und notwendig, um einen aktuellen zur Industrie vergleichbaren Stand zu erreichen – was die Basis für eine realitätsnahe Versuchsplattform und Demonstrator darstellt. Die Aufrüstungen beschränkten sich auf die direkt im Projekt relevanten Inhalte, vorhandene Komponenten und Infrastruktur (Anlage, Peripherie, Steuerung) wurden soweit wie möglich übernommen, ggfs. in anderer Form weiter genutzt oder am Institut vorhandene Infrastruktur genutzt (z. B. Server für ERP-System).

Im Rahmen des Teilvorhabens durchgeführte Arbeiten waren zur Projektbearbeitung notwendig und entsprechend der Tätigkeiten angemessen. Der Verzicht auf die eingehende Betrachtung eines zweiten Elektrolystsystems erfolgte zugunsten einer umfangreicheren Versuchsdurchführung mit dem gewählten Elektrolytssystem und einer erweiterten, intensiveren Begleitung der Validierung der Stoffbilanzierung in ProGal, welche die reduzierten Tätigkeiten mindestens ausgeglichen haben. Die Fokussierung auf ein einzelnes Elektrolytssystem war sinnvoll, um die Anzahl veränderlicher Variablen für die Validierung einzuschränken und die grundlegende Umsetzung besser bewerten zu können.

In den übrigen Arbeitspaketen haben sich einzelne Tätigkeiten reduziert, jedoch erhöhte sich der Arbeitsanteil in anderen Bereichen, so dass die genehmigten Projektmittel bedarfsgerecht über die Projektlaufzeit inkl. Verlängerungsphase entsprechend ihrer Notwendigkeit und Angemessenheit gebucht werden konnten.

5. Voraussichtliche Nutzen der Ergebnisse i.S. des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Ergebnisse wurden entsprechend des Verwertungsplans in diversen Veröffentlichungen, Messen und Vorträgen publiziert, dies wird auch weitergeführt. Der Transfer der Erkenntnisse und Ansätze in die Industrie angestrebt, im Rahmen von Veranstaltungen wurde die Lerngalvanik bereits erfolgreich als Demonstrator genutzt und die Ergebnisse präsentiert. Das IPA beteiligt sich auch am neu gegründeten Forschungsnetzwerk Digitalisierung („DiWeGa – Digitale Wertschöpfungskette in der Galvanotechnik“) des Branchenverbands DGO, in welchem die Ergebnisse vorgestellt wurden (siehe Bericht zum Kickoff [8]) und grundlegende Erkenntnisse / Erfahrungen weiter in die Industrie transferiert werden sollen.

Eine Weiterführung der Arbeiten wird angestrebt, im Rahmen eines institutsinternen Projekts werden aktuell Grundlagen zur Nutzung des Maschinellen Lernens in der Galvanotechnik weiter untersucht. Weitere Forschungsarbeiten sind geplant und werden aktuell ausgearbeitet.

6. Bekannt gewordener Fortschritt auf Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen (während Projektlaufzeit)

Es sind keine relevanten Fortschritte bei anderen Stellen bekannt.

7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 NKBF

Eine Projektbeschreibung auf der Internetseite des Instituts findet sich unter <https://www.ipa.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/SmARTPlaS.html>

Veröffentlichungen

- Kölle, Stefan; Leiden, Alexander; Schwanzer, Peter; Thiede, Sebastian; Metzner, Martin; Herrmann, Christoph. 2019. Industrie 4.0 in der Galvanotechnik. In: Sörgel, Timo (Hrsg.): Jahrbuch Oberflächentechnik 2019. Bad Saulgau: Leuze, 2019, S. 224-233.
 - Auch erschienen als Aufsatz in: Galvanotechnik: Das Innovationsmagazin. (5), S. 700-708.
- Leiden, Alexander; Kölle, Stefan; Thiede, Sebastian; Schmid, Klaus; Metzner, Martin; Herrmann, Christoph. 2020. Model-based analysis, control and dosing of electroplating

- electrolytes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, S. 1751–1766 <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06190-0>.
- Schwanzer, Peter. 2020. Entwicklungsplattform zur vorausschauenden Wartung von Prozess- und Anlagentechnik. WOMag: Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche. 9(7-8), S. 16-17.
 - Leiden, Alexander; Freitag, Mike; Schwanzer, Peter, Karl, Alexander, Schiller, Christian, Kölle, Stefan, Herrmann, Christoph: Entwicklung von Smart Services - Ein Bezugsrahmen und Anwendung in der Galvanotechnik. In: Sörgel, T. (Hrsg.): *Jahrbuch Oberflächentechnik 2020*. Band 76, S. 317–331. Bad Saulgau: Leuze Verlag 2020.
 - Schwanzer, Peter; Kölle, Stefan. 2023. SmARtPlaS-Lerngalvanik: Entwicklungsumgebung für Industrie 4.0-Ansätze in der Galvanotechnik am Fraunhofer IPA. WOMag: Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche. 12(1/2)

Vorträge

- Kölle, Stefan; Leiden, Alexander. 2021. Galvanik 4.0: Simulationsbasierte Prozessführung mittels Stoffbilanzierung. In: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik: 42. Ulmer Gespräch – Forum für Oberflächentechnik: 03.05.2021 - 06.05.2021, Online-Veranstaltung. Hilden, 2021, 17 Folien.
- Schwanzer, Peter; Kölle, Stefan. 2021. Forschungsumgebung für die Entwicklung von I4.0-Technologien - Lernanlage Galvanotechnik. In: Zentralverband Oberflächentechnik: ZVO-Oberflächentage 2021: 23.-24.09.2021, Berlin und Online. Hilden, 2021, 20 Folien.
- Schwanzer, Peter, Kölle, Stefan. 2022. SmARtPlaS-Lerngalvanik: Entwicklungsumgebung für I4.0-in der Galvanik am Fraunhofer IPA. In: Deutsche Messe AG: SurfaceTechnology GERMANY: Fachforum, 21. - 23.06.2022, Stuttgart. Hannover, 2022, 19 Folien.
- Schwanzer, Peter; Kölle, Stefan; Lörcher, Lena. 2023. Qualitätsbezogene Regelungen galvanischer Anlagen: Rückführung der Analytik-Daten bzw. Anlagensorik auf die Schichteigenschaften. In: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik: 44. Ulmer Gespräch – Forum für Oberflächentechnik: Ulm 24./25. Mai 2023. Hilden, 2023, 22 Folien.

Messen

- Präsentation der (Zwischen-)Ergebnisse auf der SurfaceTechnology Germany im Rahmen des gemeinsamen SmARtPlaS-Messestands (21.-13. Juni 2022).

Berichte / Beiträge von Dritten

- Blumenstengel, Carsten. 2023. Digitale Früchte ernten: Wissensgenerierung im Rahmen von Smart Data als wichtige Basis für die Zukunft der Galvanik in Europa. mo: Magazin für Oberflächentechnik. 77(6-7), S. 28-30
 - Zusätzlicher Blog-Beitrag und Video unter <https://oberflaeche.de/news/blog/artikel/besuch-in-der-lerngalvanik-des-fraunhofer-ipa>

Literatur

- [1] BMWi: Plattform I4.0 - Landkarte I4.0 Testzentren. Internetadresse: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/Karte/SiteGlobals/Forms/Formulare/karte-testbeds-formular.html>. Zuletzt aufgerufen am 12.06.2019.
- [2] Abele, E.; Metternich, J.; Tisch, M. (Hrsg.): Learning factories // Learning Factories. Concepts, guidelines, best-practice examples. Cham: Springer International Publishing 2019.
- [3] Prinz, C.; Morlock, F.; Freith, S. et al.: Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0. Procedia CIRP 54 (2016), S. 113–118.
- [4] Hauser, S.; Giebler, E.: Elektrochemische Verfahren dynamisch modellieren - Teil 1: Allgemeines Konzentrations- und Volumenmodell für elektrochemische Prozesse in volldurchmischten Gefäßen. Metallocberfläche 55 (2001), Nr. 3, S. 36–39. Zuletzt aufgerufen am 27.05.2019.
- [5] Leiden, A.; Thiede, S.; Herrmann, C.: Von der Industrie 4.0 zu Galvanik 4.1 - Cyber-physische Produktionssysteme für die Galvanoprozesskette. WOMag (2018), Nr. 12. Internetadresse: https://www.wotech-technical-media.de/womag/ausgabe/2018/12/28_leiden_gt4_12j2018/28_leiden_gt4_12j2018.php.
- [6] Kölle, S.; Mock, C.; Schmid, K. et al.: Von der Industrie 4.0 zu Galvanik 4.1 - Elektrolytführung neu gedacht. WOMag (2019), Nr. 4. Internetadresse: www.womag-online.de.
- [7] Leiden, A.; Kölle, S.; Thiede, S. et al.: Model-based analysis, control and dosing of electroplating electrolytes. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2020).
- [8] DGO e.V.: Digitalisierung in der Galvanotechnik: 1. DiWeGa-Netzwerktreffen in Stuttgart. Internetadresse: <https://www.dgo-online.de/forschungsberatung/taetigkeitsfeld-zim/forschungsnetzwerk-digitalisierung/detailansicht/digitalisierung-in-der-galvanotechnik-1-diwega-netzwerktreffen-in-stuttgart>. Zuletzt aufgerufen am 13.09.2023.

AP 7: Sachbericht von Airtec Mueku GmbH

Patric Hering

Teil I: Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Ziel des Verbundprojekts SmARtPlaS war die Entwicklung einer modular aufgebauten Systemlösung für einen ganzheitlich optimierten Betrieb und Wartung von Galvanikanlagen einschließlich der peripheren Betriebssysteme. In diesem Kontext sollte im Rahmen des Teilprodukts ein Modul zur datenbasierteren, externen Überwachung der betriebskritischen Abluftanlagen durch den Anlagenhersteller als internetbasierte Dienstleistung entwickelt werden. Drohende Ausfälle der Abluftanlagen, die aufgrund der behördlichen Auflagen zum Schutz der Mitarbeiter auch die sofortige Abschaltung der elektrochemischen Produktionsprozesse erfordern, sollten damit frühzeitig erkennbar und vermieden werden können (Konzept der vorausschauenden Wartung). Augmented Reality soll Kunde und Servicemitarbeiter bei Wartungsarbeiten und Reparaturen unterstützen. Ein wichtiger Aspekt stellte auch die Integration einer Brandfrüherkennung in die Abluftanlage dar, weil Rauchgase in der Abluft gesammelt werden und damit früh detektierbar sind. Weiterhin sollte der Wirkungsgrad der Abluftanlagen durch die kontinuierliche Analyse der Betriebsdaten optimiert werden.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Abluftanlagen mit online Optimierung der Abluftleistung entsprechend den unterschiedlichen Betriebssituationen und integrierter Bauteilüberwachung für die vorausschauende Wartung, wie im vorliegenden Vorhaben entwickelt, waren bisher nicht verfügbar. Bekannt war bisher lediglich bei einzelnen Anlagen eine Fernwartung für die Anlagensteuerung; dabei waren zum Beispiel Schaltzustände über das Internet einsehbar und eventuell kalibrierbar. Einzelne Steuerungen wurden auch bereits mit einem GSM Modem ausgestattet, worüber dann Standard-Fehlermeldungen per SMS übermittelt werden konnten. Dabei handelte es sich jedoch durchweg um Einzellösungen. Die Zahl der einsehbaren Parameter war stark begrenzt, eine Anbindung an ein Smart Service System mit vorausschauender Wartung war damit nicht darstellbar. Daher betrug die Anlagenverfügbarkeit von Abluftanlagen für die Galvanotechnik im Mittel nur ca. 80 - 85 %.

3. Plan und Ablauf des Vorhabens

Die geplanten Arbeiten wurden vollständig durchgeführt und die angestrebten Ziele wurden insgesamt erreicht. Allerdings traten aufgrund der COVID Pandemie und der behördlich angeordneten Isolierungen („2. Lockdown“ Dezember 2020 – März 2021 und sonstige Einschränkungen bis Sommer 2021) vor allem in 2021 erhebliche Verzögerung im Projektablauf auf. Insbesondere konnte nicht wie geplant beim Projektpartner BTO die zu entwickelte Anlagentechnik in einer industriellen Testumgebung installiert werden: BTO benötigte die dafür vorgesehene Produktionsanlage, um erhebliche Umsatzeinbußen wieder aufzuholen zu können, und konnte diese Anlage deshalb nicht für die erforderlichen Umbauten außer Betrieb setzen. Zur Lösung dieser Problematik wurde die Firma Enayati Oberflächentechnik GmbH für die Erprobung der von Airtec zu entwickelnden Lösungen gewonnen und im Herbst 2021 als weiterer assoziierter Partner ins Projektkonsortium aufgenommen. Bis Sommer 2022 konnte zusammen mit Enayati der Arbeitsrückstand der betroffenen Arbeitspakete weitgehend wieder aufgeholt werden.

Weitere Verzögerungen ergaben sich jedoch bei der Entwicklung der Lösung zur vorausschauenden Wartung, hier insbesondere hinsichtlich der Integration der datenbasierten Analysemethoden, die beim Projektpartner IWF entwickelt wurden. Gründe dafür waren eine Corona bedingte Verzögerung der Entwicklung bei IWF sowie die aufwendige Integration dieser Methoden in die von Airtec entwickelte Software. Dies machte schließlich eine Verlängerung der Projektlaufzeit um sechs Monate bis zum 31.03.2023 erforderlich.

4. Wesentliche Ergebnisse im Überblick

Im Projekt wurden innovative, internetbasierte Dienstleistungen, die dafür erforderlichen technischen Lösungen sowie entsprechende Servicekonzepte und Geschäftsmodelle für folgende betriebliche Arbeitsfelder entwickelt:

- Erhöhung der Effizienz der Abluftanlagen: Mithilfe der zu entwickelnden Smart Service Lösungen ist es möglich, die Anlagen in ihrer Funktion und ihrem Wirkungsgrad extern zu überwachen. Das selbst lernende System kann die Betriebsweise der Abluftanlagen an aktuelle Betriebszustände der Galvanikanlage wie Badbelegung, Strommenge und klimatische Umgebungsbedingungen anpassen; die Abluftanlage muss nicht immer mit voller Leistung laufen wie dies bisher üblich war. Ferner kann dem Endkunden basierend auf den Betriebsdaten u.a. zu Luftmenge, Druckverhältnisse, Leistungsaufnahme der Motoren, Reinigungswirkung usw. eine Visualisierung des Anlagenzustands zur Verfügung gestellt werden, der damit jederzeit kontrolliert kann. Kontrollmessung zu Luftmenge und Druckverhältnissen müssten nicht mehr extern beauftragt werden. Ein integriertes Brandfrüherkennungssystem steigert den die Sicherheit der gesamten Produktionsanlage und steigert erheblich den Nutzen der Abluftanlage.
- Vorausschauende Wartung: Mit den Entwicklungsergebnissen wurde das Ziel erreicht, drohende Ausfälle bei Abluftanlagen frühzeitig zu erkennen und somit unerwartet auftretende Störungen zu vermeiden. Damit konnte die Verfügbarkeit der Abluftanlage von derzeit durchschnittliche ca. 80 - 85 % auf 95 % erhöht werden.
- Die Informationen des Systems zur vorausschauenden Wartung ermöglichen ebenfalls ein intelligentes Ersatzteilmanagement und eine bessere Einsatzplanung für die Servicetechniker von Airtec.
- Vereinfachung der Wartungsarbeiten: Datenbrillen, die die Realität computergestützt erweitern, unterstützen die Mitarbeiter der Kunden bei Wartungsarbeiten und Reparaturen werden. Dazu werden zum einen den Mitarbeitern technische Informationen zur Anlage und den eingebauten Teilen zur Verfügung gestellt; zum anderen können Servicetechniker von Airtec aus der Ferne sozusagen „mit den Augen des Kunden“ auf die Anlage schauen und diesen bei seinen Arbeiten online anleiten.

Die dafür entwickelten technischen Lösungen umfassen Softwaremodule für die Anlagenüberwachung mittels datenbasierten Analysemethoden, Datenplattform (Cloud) für den Datenaustausch mit den Kunden, Schnittstellen für die eingesetzten SmartPredict Sensoren zur Bauteilüberwachung der Abluftanlagen (Pumpen, Lüfterantriebe etc.) sowie Lösungen für die Integration innovativer Sensorsysteme in den Betrieb der Abluftanlagen wie z. B. Sensoren zur Brandfrüherkennung.

5. Ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Nicht zutreffend.

Zuwendungsempfänger: Airtec Mueku GmbH	Förderkennzeichen: 02K18D114
Förderprogramm: Internetbasierte Dienstleistungen für komplexe Produkte, Produktionsprozesse und -anlagen	
Titel des Vorhabens: Verbundprojekt: Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik (SmARtPlaS); Teilprojekt: Intelligente Dienste für vorausschauende Wartung und optimierten Betrieb peripherer Anlagentechnik im Galvanikprozess	
Projektleiter/ Projektleiterin: Patric Hering	Tel.: +49 2664 997386-12 E- Mail: p.hering@airtec-mueku.de
Laufzeit des Vorhabens von: 01.10.2019	bis: 31.03.2023

Teil II: Eingehende Darstellung

1. Ausführliche Darstellung durchgeföhrter Arbeiten (im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)

1.1. Koordination und verantwortliche Durchführung von Arbeitspaket AP7

Hauptaufgabe von Airtec im Verbundprojekt war die Koordination und verantwortliche Durchführung von Arbeitspaket AP7 „Lösungen für Intelligente Dienste zur vorausschauenden Wartung und zum optimierten Betrieb peripherer Anlagentechnik im Galvanikprozess“ mit den Teilaufgaben:

- 7.1 Konzeption der Sensorik und Datenerfassung zur Fernüberwachung der peripheren Systeme;
- 7.2 Aufbau einer virtuellen Testumgebung und Planung der Überführung in eine industrielle Anlage;
- 7.3 Entwicklung eines Prototyps, Aufbau und Integration in eine industrielle Anlage (industrielle Testumgebung);
- 7.4 Entwicklung einer selbst lernenden (KI) Datenauswertung für Optimierung und vorausschauender Wartung der Peripheriesysteme.

Weiterhin leistete Airtec Beiträge zu folgenden Arbeitspaketen unter Leitung anderer Verbundpartner:

AP1 – Entwicklung von Servicekonzepten und Geschäftsmodellen, hier insbesondere Entwicklung eines Geschäftsmodells für internetbasierte vorausschauende Wartung von Abluftanlagen;

AP 5.6 Industrielle Umsetzung und Validierung der Entwicklungsergebnisse in industrieller Testumgebung, hier bes. Integration der Entwicklungsergebnisse in die Steuerung der Abluftanlage und Verifizierung der Datenkommunikation mit der Cloud bei B+T.

AP 7.1: Konzeption der Sensorik und Datenerfassung

In diesem Arbeitspaket erfolgte die Definition der notwendigen Hardware und Messtechnik für die Datenaufnahme, die Datenverarbeitung sowie Datenübermittlung an eine Cloud. Das Arbeitspaket wurde wie geplant bearbeitet und die beabsichtigten Ergebnisse erreicht. Nach der Entwicklung eines Messkonzepts und Festlegung der entsprechenden Messparameter wurde die einzusetzende Sensorik definiert und konzeptionell ausgearbeitet sowie die Einbindung der Messdaten in die Datenverarbeitung und Anlagensteuerung festgelegt. Details und Ergebnisse zu diesen Arbeiten sind nachfolgend skizziert.

Konzeption Messtechnik / Datenaufnahme

Das Messkonzept sollte folgende drei Kernanforderungen erfüllen:

- Grundsätzlich sollten alle in der Steuerung vorhandenen Messwerte und Schaltzyklen einfließen.
- Zusätzlich müssen diverse Messfühler in der Anlage integriert werden (siehe folgende Grafik).
- Alle Antriebe sollten über Frequenzumformer betrieben werden, um ein Maximum an Daten aus dem Antrieb zu erhalten.

Dafür mussten verschiedene Sensoren an unterschiedlichen Positionen der Abluftanlage integriert werden, wie in Abb. 1 auf der folgenden Seite gezeigt.

Multifunktionssensoren zur Zustandskontrolle von Pumpen und Lüftern:

- Feldtest mit Bosch XDK Sensoren bei B+T
- Umgang mit Datenmengen und Abtastraten
- Eignungsprüfung zentral oder dezentral (vgl. hierzu Konzept Datenverarbeitung unten)
- Aufbau interner Feldtest mit AIRTEC Versuchsanlage

Konzept Ultraschall-Sensor zur Detektion von Füllstand und Ablagerungen:

- Entwicklung mit externem Partner ISAT – Institut für Sensor und Aktorteknik, HS Coburg,
- Prinzip: Durch den sich ändernden Füllstand und oder durch Bildung von Ablagerungen ändert sich die Schallreflektion, dies kann detektiert und zur Messung des Füllstands etc. genutzt werden.
- Dieser zu entwickelnde Sensor könnte an verschiedenen Stellen der Anlage sinnvoll eingesetzt werden: Rohrleitungen, Behälter, Abscheider, Ventilator und weitere

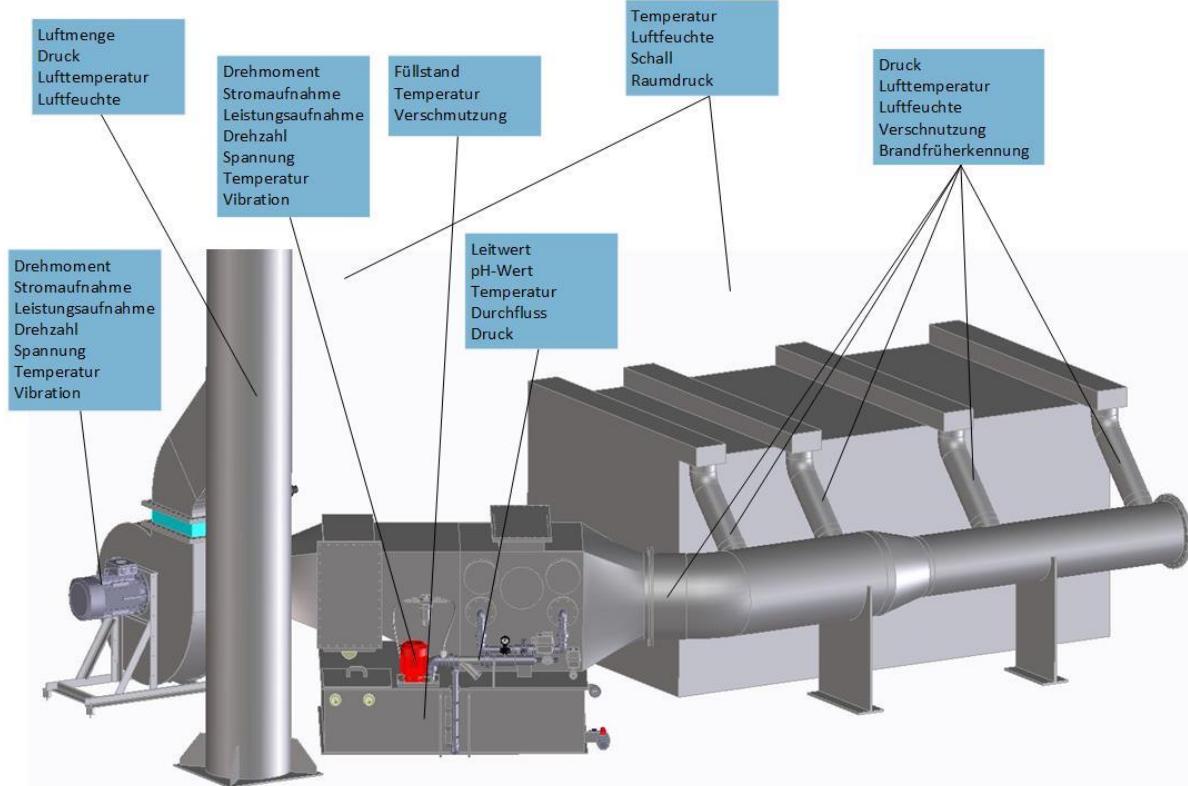


Abb. 1: In der Abluftanlage zu installierende zusätzliche Sensoren (Quelle: Airtec)

(Fortsetzung Konzept Ultraschall-Sensor)

- Anforderungen:
 - Detektion des Füllstands von wässrigen Lösungen
 - Detektion von Verschmutzungen / Verkrustungen auf Oberflächen
 - Messbereich 0-600 mm
 - Auflösung Füllstand 5 – 10 mm
 - Standard Materialien: PVC, PP, PE, PVDF ($s = 8-15 \text{ mm}$)
 - Fokus soll auf der Füllstandsmessung von Behältern liegen
 - Einfache Integration
 - Einfacher Austausch
- Herausforderungen:
 - Der im Anlagenbau verwendete Kunststoff ist sehr „weich“ und dämpft dadurch sehr stark;
 - Auch die Schalleinleitung in den Kunststoff ist schwierig.
 - Die verschiedenen Kunststoffe haben ebenfalls verschiedene Eigenschaften, die in Versuchen und Tests aufgenommen und bewertet werden müssen
 - Die Detektion hinter luftdurchströmten Wandungen ist nicht trivial oder analog zu den flüssigkeitsbedeckten Wandungen, da durch die Strömung zusätzliche Schallkomponenten entstehen.
- Zur Umsetzung erfolgte zunächst eine Machbarkeitsstudie mit ISAT, Laufzeit 13 Wochen, Voruntersuchungen an Materialproben, Füllstandsmessungen an Testbehältern, Entwicklung alternativer Sensorkonzepte

Konzept zur Brandfrüherkennung mittels Sensoren in den Lüftungsrohren:

- Veränderungen der Gaszusammensetzung im Lüftungsrohr aufgrund eines sich bildenden Brandes können ca. 10-15 Minuten vor Flammbildung detektiert werden, wodurch eine echte Brandfrüherkennung möglich wird
- Durch Integration in jeder Stichleitung (Abzweig der Saugleitung zu den einzelnen Bädern), kann das kritische Bad erkannt und z. B. sofort stromlos geschaltet werden
- Durch Brandvermeidung aufgrund einer Früherkennung werden Anlagenstillstände und –ausfälle vermieden
- Anforderungen:
 - Brandgefahr vor Brandbeginn sensorisch erkennen
 - Detektion von Brandgasen, vor allem CO in der Schmelzbrandphase
 - Erkennen von abnormalen Temperaturverläufen
 - Integration in die Abluftleitungen
- Herausforderungen:
 - Beständigkeit des Sensors gegen Luftschaadstoffe um nachhaltig korrekte Daten zu messen
 - Dadurch wahrscheinlich Aufbereitung des zu messenden Teilstroms notwendig
 - Sensorperipherie darf nicht zu komplex werden
- Technische Umsetzung
 - Messung CO (Kohlenmonoxid) über elektrochemische Zelle, Messbereich 0-300 ppm
 - Messung H₂ (Wasserstoff) über Wärmetönung-Pellistor Messung, Messbereich 0-5 Vol.-%
 - Temperaturmessung über ThermoPile Sensor mittels IR-Strahlungstemperatur, Messbereich 0-300°C
 - Optionale weitere Messungen, je nach Bedarf und Prototypen Testphase, von HCl, NO, NO₂, NH₃, SO₂ und Kohlenwasserstoffen möglich.

Konzept Datenverarbeitung / Dateninfrastruktur

Es wurden zwei grundsätzliche Möglichkeiten untersucht, die Dateninfrastruktur zu gestalten: a) zentral (blaue Strecke in Abb. 2 unten) oder b) dezentral (grüne Strecke in Abb. 2 unten). Die Vor- und Nachteile dieser Optionen wurden wie folgt analysiert:

Zentraler Aufbau	Dezentraler Aufbau
Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Daten liegen „inhouse“ beim Kunden • Spezielle, kundenspezifische Sicherheitsvorgaben möglich • Keine monatlichen Fixkosten für Cloudspeicher 	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • Daten liegen mehrfach abgesichert beim Anbieter • Keine Investitionskosten in EDV Anlage • Flexibel erweiterbar • Schneller Zugriff gewährleistet • Keine Wartung • Kalkulierbare Kosten • Rechenleistung für KI zubuchbar
Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Investition in EDV Anlage • Sehr große Speicherkapazität nötig • Wartung und Datensicherung, hoher Aufwand • USV nötig 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> • Daten liegen in fremden Händen • Sicherheitsbedenken bei manchen Kunden

Definition und Auswahl der Datenspeicherung:

- Zur Massenspeicherung der Sensordaten wird Speicherplatz in einer Cloud benötigt
 - Hier wurde zunächst die Microsoft Azure Cloud bevorzugt, weil Aufbau von Dashboards in in Microsoft Azure Umgebung einfach möglich sind und getestet werden konnten
- Verbundpartner BTO betreibt jedoch ebenso eine Cloud, die für die Verbundpartner zur Verfügung gestellt wurde; Vorteil ist das größere Vertrauen bei einem bekannten Partner
 - Datenbankformat Influx
 - Aufbau der Dashboards erfolgt hier über Grafana Software
- Es ist beabsichtigt, auch in der zukünftigen Verwertung die BTO Cloud zu nutzen, BTO ist dabei Anbieter für SmARtPlaS Cloud Dienstleistungen

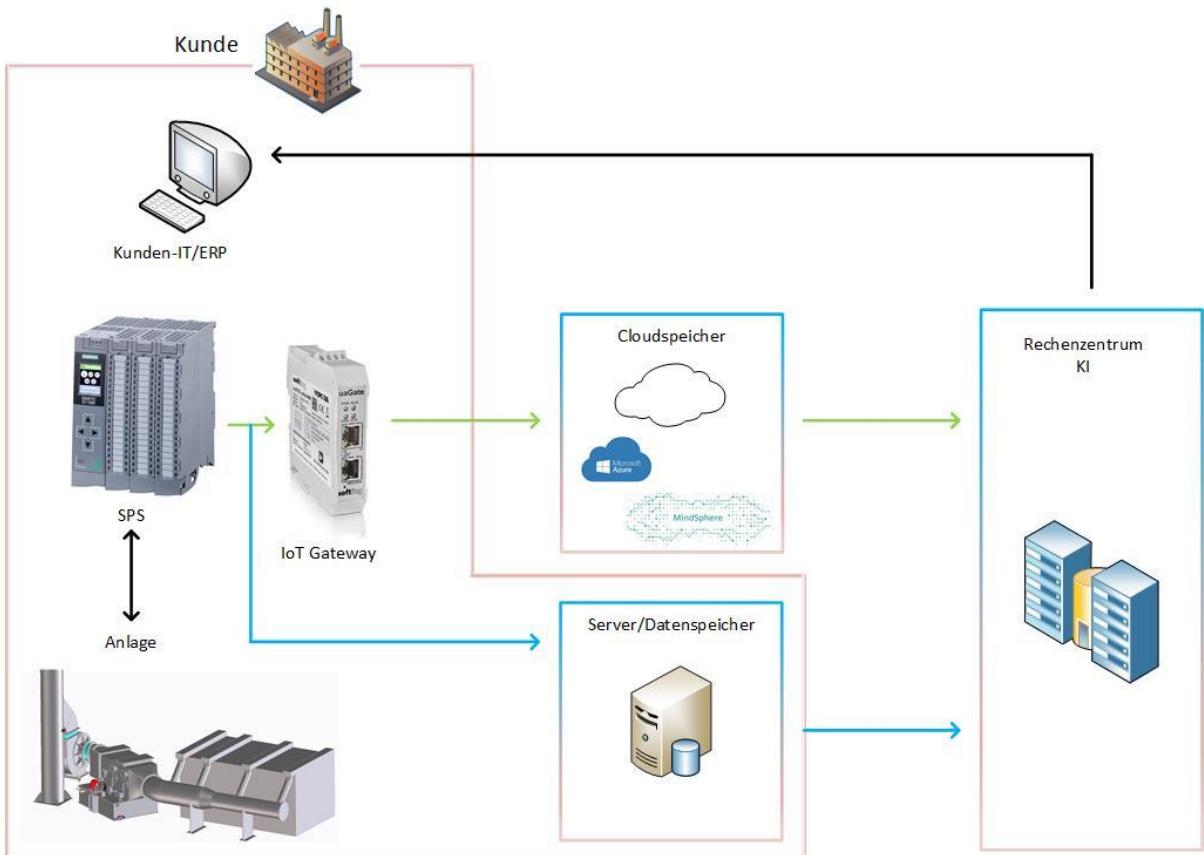


Abb. 2: Gestaltungsoptionen der Dateninfrastruktur

AP 7.2: Aufbau einer Testumgebung und Planung der Überführung in eine industrielle Anlage

Das Arbeitspaket verlief ebenfalls planmäßig. Der grundsätzliche Aufbau der benötigten Informations-technik für Datenaufnahme, -verarbeitung und SPS für die Steuerung auf der Anlagenseite wurde zunächst in einer internen Testumgebung bei Airtec realisiert und getestet.



Abb. 3: Testanlage Abluftanlage

Hierzu wurde eine Demonstrator einer Abluftanlage als physische Testanlage am Airtec-Standort Werder (Havel) in Betrieb genommen und mit der vollständigen Informations- und Mess-technik ausgerüstet. Damit konnten die IT-Struktur und die Zusammenföhrung und Übertragung aller prozessrelevante Daten an die Prozesssteuerung mit realen Anlagendaten getestet und optimiert werden. Die Anlage wurde mehrfach umgerüstet, um Versuche mit unterschiedlichen Konzepten durchzuführen können und den Transfer in eine industrielle Testumgebung (in AP7.3) optimal vorzubereiten.

Aufgrund der in AP7.3 aufgetretenen Verzögerungen, weil dieses Arbeitspaket nicht wie geplant an der Anlage bei BTO realisiert werden konnte, erwies sich diese Vorbereitung als besonders wichtig.

AP7.3: Entwicklung eines Prototyps, Überführung der bisherigen Ergebnisse in eine industrielle Anlage (Integration in eine reale Zu-/Abluftanlage)

In dem Arbeitspaket erfolgte die prototypische Umsetzung der in der Testumgebung entwickelten Lösungen in einer industriellen Zu- und Abluftanlage. Insgesamt wurden die geplanten Ergebnisse vollständig mit dem geplanten Personalbudget erreicht; jedoch waren dafür Änderungen des Lösungswegs, Verschiebungen zwischen Teilaufgaben sowie eine Verlängerung der Bearbeitungszeit erforderlich, wie nachfolgend dargestellt.

Die Umsetzung sollte planmäßig an einer Anlage des Projektpartners BTO realisiert werden. Hierfür erfolgte als erster Schritt (AP 7.3.1) die Auswahl einer geeigneten Zu- / Abluftanlage bei BTO

- Zunächst sollt nur eine Abluftanlage betrachtet werden (Grundsystem)
- Übertragung auf eine Zuluftanlage später leicht möglich
- Auch die Einbindung weiterer Systeme ist modular möglich

Anschließend erfolgte eine umfängliche Ist-Aufnahme der gewählten Anlage (AP 7.3.2):

- Erstbegehung der Abluftanlagen bei BTO am 10.09.2020
- Sämtliche Informationen zu den Anlagen wurden übermittelt (Schaltpläne, Fließschemen, Aufstellungspläne)
- Technische Prüfung und Bestandsaufnahme durch Techniker AIRTEC
- Vorgespräch zur Integration und Test des Prototyp Brandsensor

IST Aufnahme und Auswertung der Daten (AP 7.3.3) wurde abgeschlossen; es ergab sich eine gute Eignung der Anlage für die prototypische Realisierung der bisher von Airtec entwickelten Lösung. Der erforderliche Anlagenumbau mit Nachrüstung von Sensorik und Steuerungskomponenten (AP 7.3.4) sollte planmäßig noch in Q4 2020 begonnen und Ende Q1 2021 abgeschlossen werden. Aufgrund eines starken Nachholbedarfs wegen vorheriger Covid bedingter Produktionsausfälle bei BTO konnte ein für den Umbau erforderlicher zweiwöchiger Anlagenstillstand jedoch nicht innerhalb nicht erfolgen. In Absprache mit BTO wurde AP7.3.4 daher, wie im Projektplan bereits als Alternative vorgesehen, an einer anderen geeigneten Kundenanlage umgesetzt. Hierfür konnte das Unternehmen Enayati Oberflächen-technik gewonnen werden, das dem Projektkonsortium als assozierter Partner beitrat.

Die Nachrüstungen von Sensorik und IT-Hardware an der Abluftanlage von Enayati umfassten folgende Komponenten:

- Umlaufpumpe und sämtliche Antriebe wurden auf Frequenzregelung umgebaut
- Durchflusssensor Umlaufkreislauf, Ultraschall
- MQTT Gateway wurde im Schaltschrank nachgerüstet
- Diverse zusätzliche Temperaturfühler wurden integriert
- Softing UA-Gate in die Steuerung integriert
- Umwälzpumpe mit Frequenzumformer ausgestattet
- Ultraschall-Durchflussmesser nachgerüstet
- IT-Sicherheit abgestimmt
- Inbetriebnahme zum Ende Oktober 2021

Der Aufbau des Prototyps der Brandfrüherkennung erfolgte jedoch weiterhin bei BTO, da hierfür kein Anlagenstillstand erforderlich war. Der Prototyp bestand aus folgenden Komponenten (vgl. Abb. 4- 6 unten):

- Messgasentnahme über Kanaladapter
- Ansaugung Messgas über Membranpumpe mit Durchflussmesser
- Filtereinheit zum Schutz der Sensorik (Schwebstoffe, Kondensat, aggressive Stoffe)
- Brandgasdetektor
- Alle Meldungen werden im „Fail-Save“ Prinzip weitergegeben, d.h. auch Spannungsabfall, Relaisausfall, Sicherungsausfall werden als Gefahr ausgegeben, dadurch Eigenüberwachung

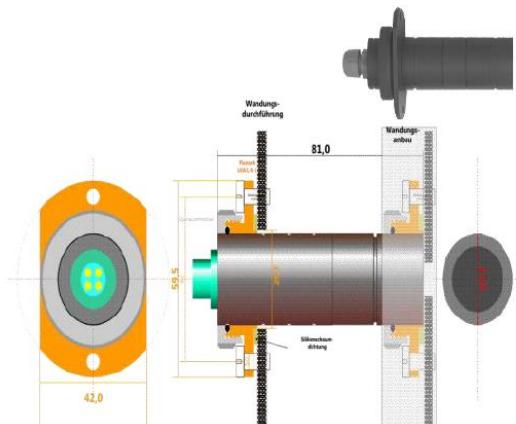


Abb. 4: Kanaladapter



Abb. 5: Filtereinheit

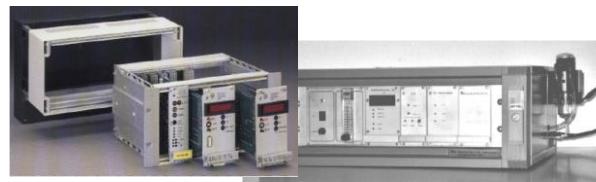


Abb. 6: Zentralgehäuse / Auswertung

Der Prototyp des Brandsensorsystems wurde Ende Q3/2021 bei BTO in einer Absaugleitung eines Beizbades eingebaut (Abb. 7) und war dort über 6 Monate in Betrieb. Ergebnisse:

- CO Detektion mittels Testrauch erfolgreich
- Nach 6 Wochen Betrieb in aggressiver Atmosphäre erfolgte Funktionsüberprüfung mittels Prüfgas, dabei zeigte sich keinerlei Abweichung
- Anschließend wurde der Sensor messtechnisch in die IT Anlage von BTO eingebunden werden; die Messwerte werden zur Auswertung in die B+T Cloud geschrieben
- Die Lebensdauer der Sensoreinheit wurde mit > 6 Monate getestet; dies ist gut ausreichend, weil die gesetzlichen Prüfintervalle nur 3 Monate betragen.



Abb. 7: Zentralgehäuse / Auswertung

Für den Aufbau der Cloud basierten Datenspeicherung und Datenbereitstellung (AP7.3.5) wurde ebenfalls weiterhin die Cloud-Infrastruktur von BTO genutzt. Hierüber erfolgte im Projekt insbesondere die Datenübermittlung an den Projektpartner IWF für die gemeinsame Entwicklung der „selbst-lernenden“ datenbasierten Ansatzes für die vorausschauende Wartung (AP7.4 in Verbindung mit AP 3.3). Die Sensorliste (Art der verwendeten Sensoren, Anzahl, überwachtes Gerät) wurde erstellt und die entsprechende Grundstruktur und Variablen in der Cloud angelegt. Anschließend erfolgte das Dashboard-Design mit Definition der anzuzeigenden Werte auf einem Dashboard und Entwicklung der Visualisierung.

Zur Vorbereitung der Inbetriebnahme des Prototyps by Enayati wurde die dortige Anlagensoftware (SPS) entsprechend umprogrammiert und an die Integration der Sensorik angepasst (AP7.3.6). Nach einer probeweisen Inbetriebnahme von Sensorik und Steuerung wurden Schnittstellen und Datentransfer in die Cloud getestet. Mit den ersten Ergebnissen aus den Tests erfolgte die Kalibrierung und Feineinstellung der Sensoren.

Parallel dazu erfolgte die Definition und Integration der Schnittstellen zur Steuerung der Galvanikanlage und zum ERP System (AP7.3.7). In einem gemeinsamen Workshop mit den Partnern BTO, DiTEC, Softec und IWF wurden die notwendigen Schnittstellen festgelegt und die Änderungen der Schaltpläne und der Steuerungssoftware geplant:

- MQTT wurde als zentrale Technologie zur Datenerfassung festgelegt
- Funktionalitäten wurden festgelegt
- Datenbedarf eines jeden Partners wurde definiert und festgelegt
- Datenbankformat wurde auf Influx festgelegt, SQL z.B. ungeeignet für diese Anwendung
- Schnittstelle zum ERP wurde auf REST API festgelegt (Kommunikation untereinander)
- Festlegung des Szenarios einer Anomalie am Beispiel eines drohenden Bauteildefektes unter Einbeziehung der ERP Software

Die Kommunikationsstruktur ergab sich damit wie in folgender Abb. 8 gezeigt.

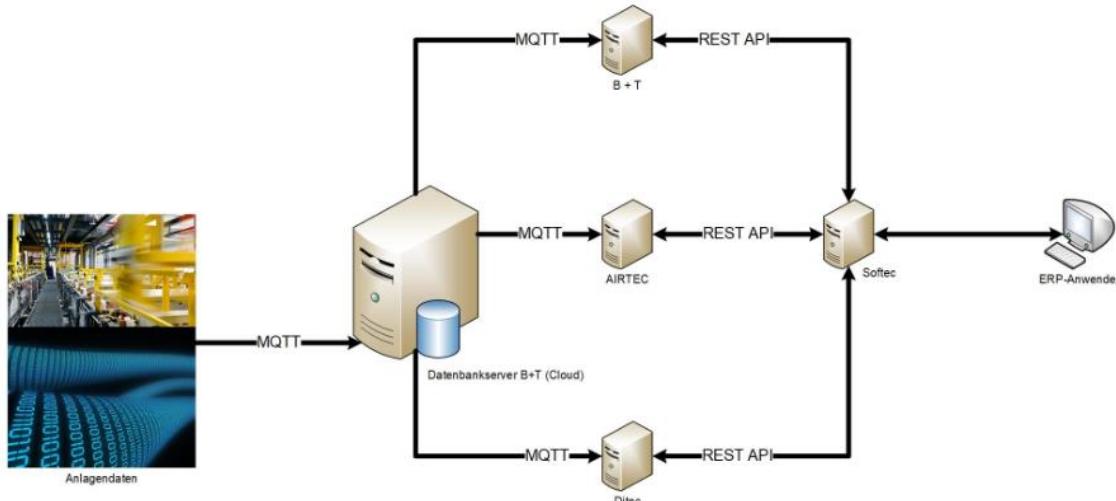


Abb. 8: Kommunikationsstruktur zwischen Steuerungen der Abluftanlage und Galvanikanlage, ERP System und BTO Cloud

Für die Inbetriebnahme des Prototyps (AP7.3.8) bei Enayati wurden 5 XDK-Sensoren von IWF bereitgestellt, von Airtec getestet, Anfang Feb. 2022 in die IT-Infrastruktur von Enayati integriert und in Betrieb genommen. Schnittstellen und Cloud Anbindung des Systems wurden getestet, die Sensorik kalibriert und feineingestellt. Nach längerem Testbetrieb des Prototyps der Steuerung ergab sich als nicht lösbares Problem, dass die MQTT-Verbindung der Bosch XDK Sensoren zum MQTT-(„Cloud-“) Server von BTO sehr instabil war, so dass eine durchgängige Datenaufzeichnung nicht realisiert werden konnte; die Daten waren dadurch für die Entwicklung der KI basierten Steuerung unbrauchbar. Zur Lösung wurden neue „SmartPredict“ Sensoren von INDTact beschafft; diese Multisensoren erfassen Temperatur, Schallemission und Vibration von Geräten und Anlagen. Die Sensoren wurden im August 2022 bei Enayati eingebaut und in Betrieb genommen. Die Integration erfolgte im SPS-Programm, Kommunikation zwischen Sensoren und SPS erfolgt per Kommunikationsprotokoll Modbus.

Ab August 2022 konnte die Datenaufzeichnung (AP7.3.9) nach Tests unter Serienbedingungen, Optimierung der Visualisierung und Abstimmung mit IWF bezüglich Datenmenge und Datenqualität dauerhaft laufen und die Daten via BT Cloud für IWF zur Modellentwicklung für die datenbasierten Überwachung der Zuluft-/Abluftanlage bereitgestellt werden. Als Endstand wurde eine durchgängige Datenaufzeichnung von August 2022 bis März 2023 erreicht. Dabei erfassen die Multisensoren an allen Antrieben der Anlage Temperatur, Schallemission und Vibration; außerdem stehen sämtliche Anlagen-daten aus der SPS zur Verfügung

AP 7.4: Entwicklung einer selbst-lernenden Datenauswertung für Optimierung und Predictive Maintenance der Peripheriesysteme

In Zusammenarbeit mit Projektpartner IWF wurde in diesem Arbeitspaket eine Software für eine selbstlernende Datenauswertung entwickelt. Das Arbeitspaket war ursprünglich für eine Dauer von 12 Monaten geplant, konnte jedoch aufgrund der erst ab Ende September 2022 in ausreichender Menge bereitstehenden Trainingsdaten in Teilen erst erheblich später als geplant beginnen. Im Rahmen der deswegen beantragten und bewilligten Verlängerung der Projektlaufzeit um sechs Monate konnte das Arbeitspaket jedoch ebenfalls vollständig abgeschlossen werden, wie nachfolgend dargestellt. Aufgrund der personalintensiven Bearbeitung musste der geplante Personalkostenrahmen dabei überschritten werden; der Mehraufwand wurde vollständig aus Eigenmitteln finanziert.

Planmäßig begonnen wurde die Definition der Zielsetzung, Möglichkeiten und Grenzen des selbstlernenden System (7.4.1). Die Erstellung des Betriebstagebuchs begann im August 2022 parallel zum Beginn der Datenaufzeichnung. Die Auswertung der Daten und Abgleich mit Events aus Betriebstagebuch (7.4.2) sowie die Entwicklung der selbstlernenden Datenauswertung (74.3) wurden parallel Anfang Sept. 2022 begonnen; Ende Okt. Stand bereits eine erste Version der Datenauswertung für den Testbetrieb zur Verfügung. Neben der Entwicklung der Selbstlern-Algorithmen gemeinsam IWF erfolgte die

Entwicklung eines Dashboards zur Visualisierung der Datenauswertung sowie die Integration der von Softec entwickelten Augmented Reality Applikation. Testbetrieb der selbst-lernenden Datenauswertung begann im Nov. 2022 in der Versuchsumgebung bei Airtec und lief in der industriellen Testumgebung bei Enayati und entsprechende Anpassungsentwicklungen von Messekonzept, Sensorik und selbstlernendem System im gesamten ersten Quartal 2023. Um dieses anspruchsvolle Entwicklungsprogramm in der kurzen verbleibenden Zeit noch zum Erfolg zu führen, arbeiteten neben den beiden Geschäftsführer im geplanten Umfang etwa ab 12/2022 – 03/2023 zwei Entwickler in Vollzeit für das Arbeitspaket.

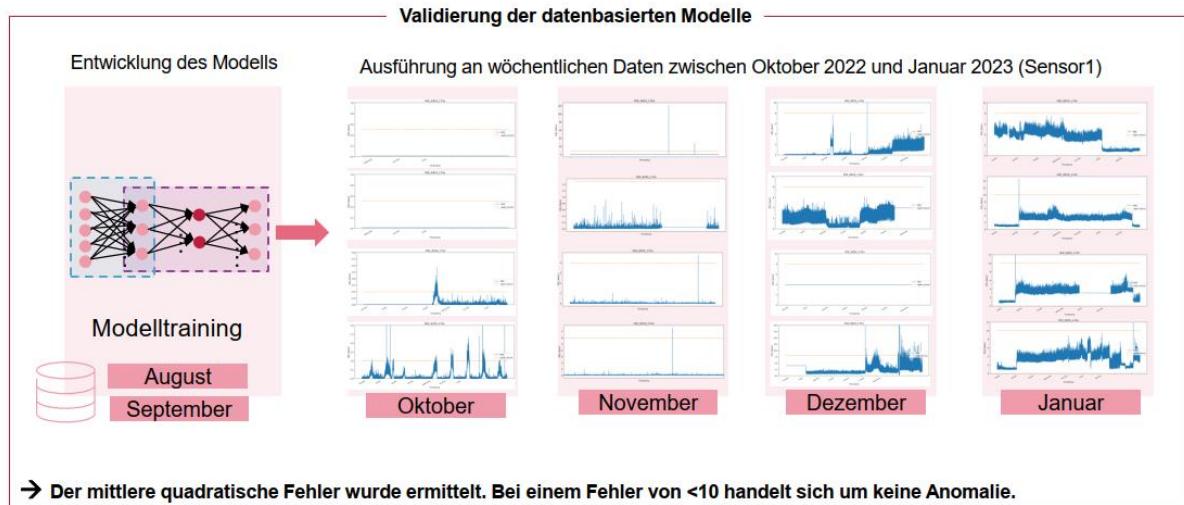


Abb. 9: Validierung der datenbasierten Modelle (Quelle: Airtec / IWF)

1.2. Beiträge zu Arbeitspaketen unter Leitung anderer Projektpartner

Airtec leistete des Weiteren folgende Beiträge zu Arbeitspaketen unter Leitung anderer Projektpartner.

AP 5.6: Industrielle Umsetzung, Validierung in industrieller Testumgebung

Airtec trug hier insbesondere zur industriellen Umsetzung und Validierung von Projektergebnissen anderer Projektpartner bei. Airtec unterstützte BTO insbesondere bei der Verifizierung der Datenkommunikation mit dem BTO Cloud Server, ua. Durch Beobachtung der Systemzustände bezüglich Rückverfolgbarkeit der Zustände der Abluftanlage mit den aktuellen Produktionsdaten.

Des Weiteren erfolgten zahlreiche Tests zu AR Lösungen, deren Ergebnisse in die AR Entwicklungen bei IWF und Softec rückgekoppelt wurden, insbesondere zu Schnittstellen und Interaktionsproblemen bei der konkreten Nutzung von Augmented Reality im industriellen Betrieb. U. a. wurden – ausgelöst durch die Probleme der Corona-Pandemie – AR Lösungen bei zwei Inbetriebnahmen getestet. Dadurch konnten vor allem kritische Probleme erfasst werden, die bei der AR gestützten Interaktion zwischen Kunden oder Airtec Mitarbeitern in der Ferne und Technikern, die am Sitz von Airtec die Arbeiten vor Ort am Bildschirm verfolgten und den Mitarbeitern vor Ort technische Hilfestellung geben sollten.

Ein weiterer wesentlicher Beitrag betraf die Erprobung der von Softec entwickelten AR App in der industriellen Testumgebung bei Enayati.



Abb. 10: Erprobung der Softec AR App für die Überwachung der Zuluft im Betrieb von Enayati

AP 1: Entwicklung von Servicekonzepten und Geschäftsmodellen

Im ersten Schritt wurden hier in gemeinsamen Workshops mit IAT, DiTEC, Softec und dem assoziierten Partner eiffo neue Ideen für zukünftige Serviceangebote generiert (AP1.2). Für Airtec ergaben sich folgende mögliche Angebotspakete für Dienstleistungen:

Basic	Business	Premium
Basic - Wartung durch Kunde - SmARtPlaS Datennutzung - AIRTEC überwacht - AIRTEC berät bei kritischen Events - Regelmäßige Wartung / Prüfung durch AIRTEC (z.B. jährlich) - Ersatzteilvorhaltung durch Kunde - Anbindung SmARtPlaS an ERP	Business Wie Basic mit zusätzlichen Leistungen: - Wartung durch Kunde mittels AR Unterstützung - Mitarbeitereschulung mittels AR - AIRTEC Hotline 24/7	Premium Wie Business mit zusätzlichen Leistungen: - Wartung durch AIRTEC - Ersatzteilvorhaltung durch AIRTEC - Garantierte Reaktionszeit - Verlängerung der Gewährleistung - Garantierte Anlagenverfügbarkeit

Zur Erfassung der Anforderungen potentieller Kunden dazu (AP 1.3) wurde ein Fragebogens bezogen auf Betrieb und Wartung von Ab- und Zuluftsystemen zusammen mit eiffo eG und IAT ausgearbeitet zu folgenden Feldern:

- Abfrage von Grundinformationen zur Entwicklung eines Geschäftsmodells
- Abfrage der Bereitschaft, intelligente Systeme zu implementieren
- Abfrage, ob Interesse besteht an einer externen Lösung / Dienstleistung
- Abfrage aktueller Probleme mit der Wartung und den Abluftsystemen
- Abfrage zur Bereitschaft für neue Geschäftsmodelle (Miete, Pay per Use, usw.)

Die Verteilung des Fragebogens erfolgte an gute Bestandskunden von Airtec und weitere von eiffo benannte Unternehmen. Der Rücklauf war gut, vergleiche die Auswertung durch IAT. Auf Basis dieser Informationen erfolgte ein Gruppierung potentieller Kunden in vier Typen (wie in Abb. 10 gezeigt).

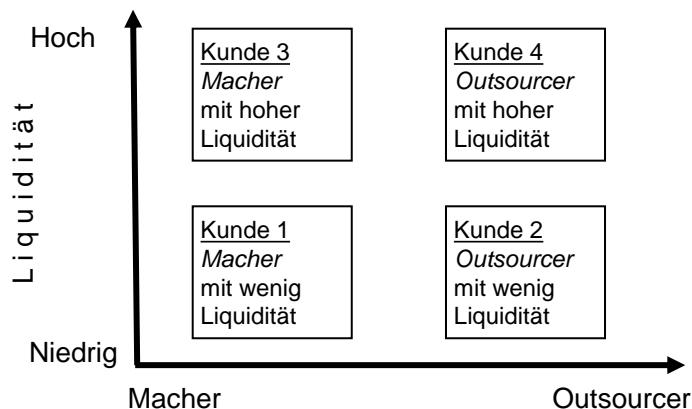


Abb. 11: Einteilung der Nutzer- / Zielgruppe in vier Typen

Die Entwicklung von Geschäftsmodellen (AP1.4) wurde in weiteren Workshops gemeinsam mit IAT durchgeführt. Hierzu erfolgte eine prozentuale Einteilung des Kundenstammes von Airtec in die 4 Kundentypen, die Pakete und Leistungen wurden den 4 Modellkunden zugeordnet und ein Use-Case pro Modellkunde erstellt. Weiterhin wurden mögliche Kosten der Dienstleistungs-Pakete kalkuliert.

2. Erzielte Ergebnisse

Wichtigste Projektergebnisse von Airtec sind die entwickelten **innovativen, internetbasierten Dienstleistungen** für die nachfolgend beschriebenen betrieblichen Arbeitsfelder. Diese Dienstleistungen werden ermöglicht durch dafür erforderliche **technischen Lösungen** und entsprechende **Servicekonzepte und Geschäftsmodelle**, die ebenfalls als Ergebnisse des Vorhabens zur Verfügung stehen und Airtec einen erheblichen Wettbewerbsvorsprung verschaffen.

Die entwickelten innovativen, internetbasierten Dienstleistungen bedienen folgende betriebliche Aufgabenstellungen:

1. Online-Kontrolle und Erhöhung der Effizienz der Abluftanlagen:
Mithilfe der entwickelten Smart Service Lösungen ist es möglich, die Anlagen in ihrer Funktion und ihrem Wirkungsgrad extern zu überwachen. Das selbst lernende System kann die Betriebsweise der Abluftanlagen an aktuelle Betriebszustände der Galvanikanlage wie Badbelegung, Strommenge und klimatische Umgebungsbedingungen anpassen; die Abluftanlage muss nicht immer mit voller Leistung laufen wie dies bisher üblich war. Ferner kann dem Kunden basierend auf den Betriebsdaten u.a. zu Luftmengen, Druckverhältnissen, Leistungsaufnahme der Motoren, Reinigungswirkung usw. eine Visualisierung des Anlagenzustands zur Verfügung gestellt werden, der damit jederzeit kontrolliert kann. Kontrollmessungen zu Luftmenge und Druckverhältnissen müssen nicht mehr extern beauftragt werden. Ein integriertes Brandfrüherkennungssystem steigert die Sicherheit der gesamten Produktionsanlage und steigert erheblich den Nutzen der Abluftanlage.
2. Vorausschauende Wartung:
Mit dem entwickelten Online-Überwachungssystem der Abluftanlage wurde das Ziel erreicht, drohende Ausfälle bei Abluftanlagen frühzeitig zu erkennen und somit unerwartet auftretende Störungen zu vermeiden. Damit konnte die Verfügbarkeit der industriellen Testanlage von bisher durchschnittlich ca. 80 - 85 % auf 95 % erhöht werden.
3. Ersatzteilmanagement und Einsatzplanung:
Die Informationen des Systems zur vorausschauenden Wartung ermöglichen ebenfalls ein intelligentes Ersatzteilmanagement und eine bessere Einsatzplanung für die Servicetechniker von Airtec.
4. Vereinfachung der Wartungsarbeiten:
Datenbrillen, die die Realität computergestützt erweitern, unterstützen die Mitarbeiter der Kunden bei Wartungsarbeiten und Reparaturen werden. Dazu werden zum einen den Mitarbeitern technische Informationen zur Anlage und den eingebauten Teilen zur Verfügung gestellt; zum anderen können Servicetechniker von Airtec aus der Ferne sozusagen „mit den Augen des Kunden“ auf die Anlage schauen und diesen bei seinen Arbeiten online anleiten.

Die dafür entwickelten technischen Lösungen umfassen

- Softwaremodule für die Anlagenüberwachung mittels datenbasierten Analysemethoden,
- Datenplattform für den Datenaustausch mit den Kunden (installiert auf dem Cloud-Server des Partners BTO),
- Schnittstellen für die eingesetzten SmartPredict Sensoren zur Bauteilüberwachung der Abluftanlagen (Pumpen, Lüfterantriebe etc.) sowie
- Lösungen für die Integration innovativer Sensorsysteme in den Betrieb der Abluftanlagen, wie z. B. Sensoren zur Brandfrüherkennung, und
- Lösungen für die Integration von Augmented Reality Systemen zur Unterstützung der Mitarbeiter unter Nutzung der vom Projektpartner Softec entwickelten AR-Applikation.

Nachfolgend ist beispielhaft ein Screenshot einer Darstellung aus dem entwickelten Prototyp des Dashboards zur Visualisierung der Anlagenzustände gezeigt, das an der industriellen Anlage des assoziierten Partners Enayati für die Erprobung installiert wurde. Mit dem dort prototypisch installierten System zur vorausschauenden Wartung der Abluftanlage wurden bei folgenden drei Geräte jeweils Schallemissionen, Beschleunigung und Temperatur überwacht: 1) Zuluftventilator, 2) Abluftventilator, 3) Wäscherpumpe. Auf Basis der dabei erzielten Ergebnisse kann das System erfolgreich in die industrielle Praxis überführt werden.

Frontend: Visualisierung in einem lokalen Dashboard



→ Die Ergebnisse aus Modellen können zur Überwachung der Geräte in einem Dashboard visualisiert werden.

Abb. 12: Screenshot einer Darstellung aus dem entwickelten Prototyp des Dashboards zur Visualisierung der Anlagenzustände

Für die Umsetzung der entwickelten Dienstleistungen in die industrielle Praxis sind die im Rahmen des Arbeitspakets gemeinsam mit dem Partner IAT entwickelten Geschäftsmodelle ein wichtiger Baustein; Details dieser Ergebnisse wurden in der Arbeitspaketbeschreibung dargestellt.

Ebenso wurden eine Reihe weiterer Teilergebnisse und Wissensbausteine erarbeitet, die vor allem für die zukünftige wissenschaftlich-technische Weiterentwicklung bei Airtec wichtige Beiträge liefern, u. a. zur Entwicklung von „Big Data“ Ansätzen für die Steuerung der Lüftungsanlagen, die entstandene eigene Testumgebung für die datenbasierte Überwachung der Lüftungsanlagen, das erarbeitete umfangreiche Know how über Sensorsysteme und deren Integration in industrielle Anlagen etc. Details hierzu wurden ebenfalls in der Arbeitspaketbeschreibung dargestellt.

3. Verwendung der Zuwendung

Wichtigste Kostenposition mit laut Vorkalkulation 82% der Gesamtkosten des Vorhabens waren die Personalkosten (Pos. 0837 des Finanzierungsplans). Diese wurden im Wesentlichen planmäßig verwendet – mit geringfügigen Verschiebungen zwischen einzelnen Arbeitspaketen – und vollständig verbraucht und nachgewiesen. Tatsächlich entstanden aufgrund der durch die Corona-Pandemie bedingten Verzögerungen im Projektlauf sogar insgesamt höhere Personalkosten als geplant. Insgesamt wurden auch Aufwände für die Implementierung der Sensorik, für die Entwicklung der selbst-lernenden Datenauswertung sowie für die Entwicklung der Geschäftsmodelle unterschätzt, wobei auch dabei jeweils zusätzliche Schwierigkeiten durch die beschränkten Arbeitsmöglichkeiten während der Corona-Pandemie auftraten.

Die geplanten Mittel für FE-Fremdleistungen (Pos. 0823) wurden ebenfalls planmäßig und vollständig verbraucht.

Die geplanten Mittel für Material (Pos. 0813) wurden dagegen nur zu 28% und für Vorhabensspezifische Abschreibungen (Pos. 0847) gar nicht verwendet. Grund dafür war, dass die ursprünglich beim Projekt-partner BTO geplante Installation des entwickelten Prototyps dort aufgrund der oben (AP7.3) genannten Schwierigkeiten nicht realisiert werden konnte. Beim dann gefundenen Ersatzpartner Enayati waren die eingeplanten Kosten für eine Umrüstung der Zuluft-/Abluftanlage nicht erforderlich, da bei Enayati bereits eine Airtec Anlage neuester Generation installiert war, bei der der entwickelte Prototyp ohne Nachrüstungen installiert werden konnte. Der Nachweis der Projektkosten wurde entsprechend gekürzt.

Auf eine erbetene Mittelverschiebung von Teilen des Budgets für Materialkosten zu den Personalkosten wurde verzichtet, da sich der dafür erforderliche administrative Aufwand nach Rücksprache mit dem Projektträger als nicht tragbar erwies – trotz der mehrfach in Aussicht gestellten einfacheren Abwicklung im Kontext der Corona-Pandemie bedingten Probleme der Unternehmen.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die geleisteten Projektarbeiten waren zur Erreichung der vorhabensgemäßen Ziele und oben beschriebenen Ergebnisse in vollem Umfang notwendig und angemessen, wie sich auch aus der obigen detaillierten Beschreibung Arbeiten ableiten lässt. Über den Umfang der ursprünglichen Planung hinaus war überdies aufgrund der ebenfalls durch die Corona-Pandemie bedingten Verzögerung der Entwicklung der datenbasierten Analysemethoden beim Projektpartner IWF sowie die aufwendige Integration in die entwickelte Software zu Vorausschauenden Wartung eine Verlängerung der Projektlaufzeit um 6 Monate erforderlich.

5. Voraussichtliche Nutzung der Ergebnisse i.S. des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Airtec beabsichtigt, sämtliche Projektergebnisse zu marktfähigen Produkt-Dienstleistungen fertig zu entwickeln und selbst zu vermarkten. Hierzu sind folgende weitere Schritte geplant:

- Das entwickelte und an der Demonstrationsanlage getestete Dashboard zur Visualisierung der datenbasierten Prozessüberwachung und vorausschauenden Wartung wird bereits im Vertrieb als Demonstrator eingesetzt.
- Umstellung und Implementierung des entwickelten Service Konzeptes (vgl. AP1). Hier sind noch erforderlich:
 - Anpassung und Weiterentwicklung der internen Service-Prozesse;
 - Implementierung der AR Anwendung im Service Bereich,
 - Schulung der Mitarbeiter und Umstellung auf die neuen Servicepakete
- Fertigentwicklung eines Hardware-Pakets für die Anlagenüberwachung, das Kunden konkret angeboten werden kann. Umsetzung der Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Projekt, um größere Systemsicherheit zu erreichen, technische Gespräche mit möglichen Lieferanten.
- Weiterentwicklung der Brandfrüherkennung zu einem ganzheitlichen Konzept im Verbund mit Branchenverbänden und Brandversicherern.
- Fertigentwicklung des Ultraschall basierten Füllstandssensors.

6. Bekannt gewordener Fortschritt auf Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es liegen keine Erkenntnisse vor.

7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 NKBF

Erfolgte Veröffentlichungen:

- November 2021, 8.-9. November: Halbzeitpräsentation „High Tech meets High Touch“ mit PixlipPräsentation „SmARtPlaS - Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik.

- Juni 2022: Gemeinschaftsstand des Projekts SmARtPlas auf der Messe Surface Technology Germany in Stuttgart, im Rahmen Innovationsforums „Prozesskette Oberflächentechnik“ der WOMag.
- Juni 2022: Vortrag beim Fachforum „Smarte Steuerung für vorausschauende Wartung der Abluftanlage / innovative Brandschutzsensorik.“
- Dezember 2022: Fachartikel „Intelligente Dienste für vorausschauende Wartung und optimierten Betrieb peripherer Anlagentechnik im Galvanikprozess am Beispiel der Abluftanlage“, WOMag 12/2022.
- März 2023: Fachartikel „Intelligente, Augmented Reality-gestützte Produktionsprozesse“ in Service Today, Sonderausgabe 2023.
- Juni 2023: Beitrag des Projekts SmARtPlaS zur Publikation „Innovationen für datenbasierte Wertschöpfung, hrsg. von Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V., München.

Geplante sind ferner weitere Vorträge insbesondere bei ZVO Oberflächentage Sept. 2023 und ähnlichen Fachveranstaltungen der Oberflächentechnik, Messe Surface Technology 2024 usw.

AP 8: Sachbericht von Nova Measuring Instruments GmbH / Ursprünglich: ancosys GmbH

Matthias Naumann

Teil I: Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Stand der Technik in der Halbleiterindustrie ist die online-Analyse aller bekannten Badkomponenten. Sehr häufig jedoch kommt es vor, dass die Konzentrationen aller Badkomponenten im vorgesehenen Prozessfenster liegen und das Bad dennoch nicht richtig "funktioniert".

Hier will ancosys ansetzen die Möglichkeiten zu schaffen solche Fehlentwicklungen frühzeitig zu erkennen um in den Prozess einzugreifen bevor es zu Produktverlust kommt.

3. Plan und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)

- I. Konzeption eines Analysensystems zur vorausschauenden Elektrolytwartung
- II. Erarbeitung der Datenbasis zur Elektrolytbeurteilung bzg. Abbauprodukten
- III. Erarbeitung der Datenbasis zur Elektrolytbeurteilung bzg. Kontaminationen
- IV. Entwicklung vorausschauender Anlagenwartung (FDC) – **dieser Punkt wurde gestrichen**
- V. Entwicklung einer automatischen Auswertung der Messdaten
- VI. Korrelation der Auswertungen mit realen Betriebsdaten
- VII. Entwicklung von Regelalgorithmen zur Prozesssteuerung
- VIII. Aufbau eines Prototypen und Validierung in industrieller Testumgebung

4. Wesentliche Ergebnisse im Überblick

Es konnte gezeigt werden, dass verschiedene elektrochemische Analysenmethoden Abweichungen in galvanischen Bädern die zu Produktverlust führen hilfreich eingesetzt werden können. Um zusätzliche Informationen über den Zustand von Elektrolyten zu erhalten wurde teilweise auch HPLC (Hochdruck Flüssigkeitschromatographie) eingesetzt.

5. Ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Keine

Zwendungsempfänger: Nova Measuring Instruments GmbH Ursprünglich: ancosys GmbH	Förderkennzeichen: FKZ: 02K18D117
Förderprogramm: Internetbasierte Dienstleistungen (Smart Services)	
Titel des Vorhabens: Intelligente, Augmented Reality gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik (SmARtPlaS); Teilvorhaben: Vorausschauende Wartung komplexer elektrochemischer Beschichtungsprozesse als intelligente Dienstleistung insbesondere für die Elektronikindustrie.	
Projektleiter/ Projektleiterin: Matthias Naumann	Tel.: +49 151 72741253 E-Mail: matthias-n@novami.com
Laufzeit des Vorhabens von: 01.10.2019	bis: 31.03.2023

Teil II: Eingehende Darstellung

1. Ausführliche Darstellung durchgeföhrter Arbeiten (im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)
2. Erzielte Ergebnisse (ggf. durch Bilder, Diagramme oder Grafiken ergänzen)
3. Verwendung der Zuwendung (wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises)
4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten
5. Voraussichtliche Nutzen der Ergebnisse i.S. des fortgeschriebenen Verwertungsplans
6. Bekannt gewordener Fortschritt auf Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen (während Projektlaufzeit)
7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 NKBF (Vorträge, ...)



SmARtPlaS - AP8 – Abschlussbericht

**Nova Measuring Instruments GmbH
(vormals: ancosys GmbH)**



D M R

ancosys[®] GmbH

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

- 1. Gründe und Ziel für die vorliegende Entwicklung - Arbeitsumfang**
- 2. AP8.1 - Konzeption des Analysesystems**
- 3. AP8.2 und 8.3 - Schaffung der Datenbasis**
4. AP8.4 - wurde gestrichen
- 5. AP8.5 - Entwicklung der automatischen Auswertung der Messdaten**
- 6. AP8.6 - Korrelation der Auswertung mit realen Betriebsdaten**
- 7. AP8.7 - Entwicklung von Regelalgorithmen zur Prozesssteuerung**
- 8. AP8.8 - Aufbau Prototyp und Validierung in industrieller Testumgebung**

D M R

07.04.2022

ancosys[®] GmbH

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

1. Gründe und Ziel für die vorliegende Entwicklung

Die Zusammensetzung der Elektrolyte ändert sich ständig:

- Metallionen werden abgeschieden und müssen ergänzt werden (lösliche Anoden, inerte Anoden, Membranen).
- Es bilden sich Abbauprodukte der organischen Additive (→ Ergänzung der Additive, Wirkung der Abbauprodukte?)
- Badkomponenten werden von "aktiven" zu "inaktiven" Oxidationsstufen oxidiert (Sn^{2+} zu Sn^{4+} ; As^{3+} zu As^{5+}).
- Badausschleppung (drag out)
- Einschleppen von Spülwasser oder Badkomponenten von vorangehenden Prozessschritten (drag in).

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

1. Gründe und Ziel für die vorliegende Entwicklung

- Immer wieder berichten Kunden davon, dass Bäder zu erhöhtem Ausschuss führen obwohl alle Badkomponenten im vorgeschriebenen Konzentrationsbereich liegen.
- In Vorversuchen wurde festgestellt, dass spezielle elektrochemische und HPLC-Messungen zu "Fingerprints" führen können die Änderungen im Platingverhalten von Bädern zeigen können, bevor Schäden auftreten.
- **Über solche Messungen und Vergleiche (Korrelation) mit Produktionsdaten soll ein "Frühwarnsystem" gegen wirtschaftlichen Schaden entwickelt werden.**

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

- Um effektive, vorausschauende Bad-Wartung durchführen zu können, sind viele Detailinformationen nötig:

- sind die Analysenergebnisse der einzelnen Badkomponenten in Spec?

- reichen die Analysenergebnisse der bekannten Badkomponenten aus um ein funktionsfähiges Bad zu beschreiben?

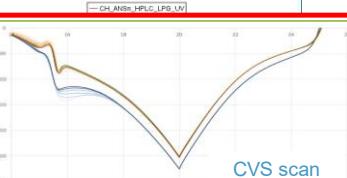
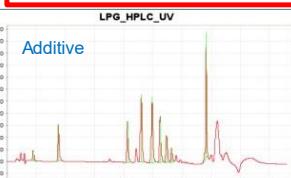
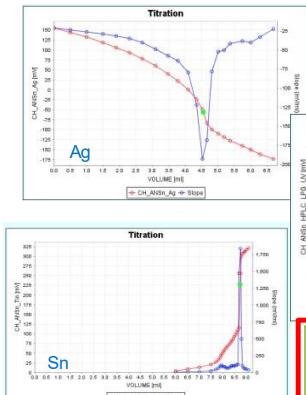
... die Erfahrung unserer Kunden zeigt, dass dies oft **nicht reicht!**

- weitergehende Überwachung der Bäder mit geeigneten Methoden ist nötig

z.B. → **mVECA** (multi Variante ElektroChemische Analyse)

.... evtl. zusätzlich → **HPLC** (High Performance Liquide Chromatographie)

“Bath Health”



- Zusammenfassung der Analysenergebnisse der Bad-Komponenten mit mVECA-Daten zu einem “Bad-Gesundheitsfaktor”



- Kritische Informationen einfach darstellen

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

1. Gründe und Ziel für die vorliegende Entwicklung - Arbeitsumfang

2. AP8.1 - Konzeption des Analysesystems

3. AP8.2 und 8.3 - Schaffung der Datenbasis

4. AP8.4 - wurde gestrichen

5. AP8.5 - Entwicklung der automatischen Auswertung der Messdaten

6. AP8.6 - Korrelation der Auswertung mit realen Betriebsdaten

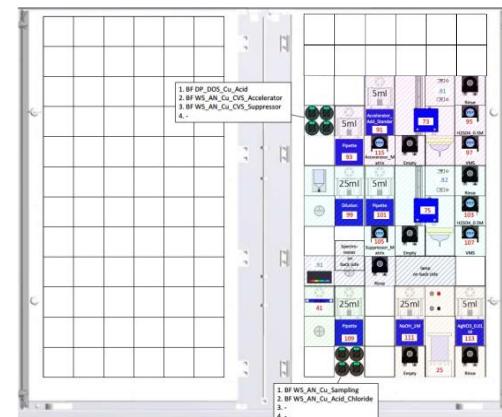
7. AP8.7 - Entwicklung von Regelalgorithmen zur Prozesssteuerung

8. AP8.8 - Aufbau Prototyp und Validierung in industrieller Testumgebung

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

2. AP8.1 - Konzeption Analysensystem zur vorausschauenden Elektrolytwartung

- Stand der Technik in der Halbleiterindustrie ist die online-Analyse aller bekannter Badkomponenten - damit können diese Badbestandteile sehr gut in Spec gehalten werden.
- Um unvorhergesehene Änderungen der Bäder frühzeitig zu erkennen, wurden Erweiterungen zu den bekannten Systemen entwickelt.
- Es soll die Möglichkeiten geschaffen werden, Fehlentwicklungen frühzeitig zu erkennen um in den Prozess einzugreifen bevor es zu Produktverslust kommt.



AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

2. AP8.1 - Konzeption Analysensystem zur vorausschauenden Elektrolytwartung

- Neue Messplätze und Konzepte für die vorausschauende online Bad-Analytik

1. ECA = ElektroChemische Analyse: mit Hilfe von CVS- und PCGA-Techniken sollen Unterschiede im Badverhalten sichtbar gemacht werden, bevor es zu Ausfällen bei der Produktion kommt.

Im Unterschied zu klassischen CVS-Methoden werden die Analysen mit unverdünnten und unveränderten Proben gemacht.

2. HPLC = High Performance Liquid Chromatography

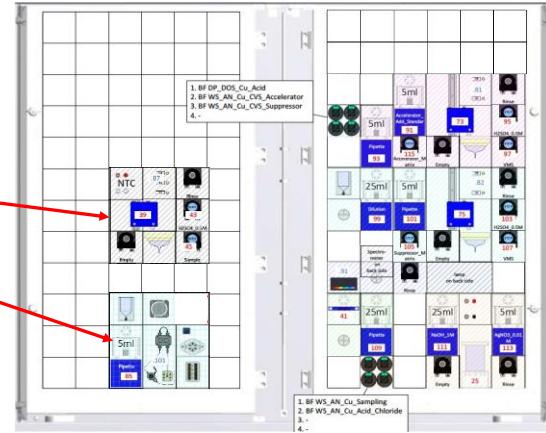
mittels HPLC können "gute" Badkomponenten analysiert werden, aber auch verschiedene Abbauprodukte sowie Verunreinigungen. Diese können auch mit Prozessdaten korreliert werden.

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

2. AP8.1 - Konzeption Analysensystem zur vorausschauenden Elektrolytwartung

- Integration der neuen Messplätze in ein "Standard"-Analysensystem (**ancolyzer®**)

1. **Messplatz ECA**
2. **Messplatz HPLC**



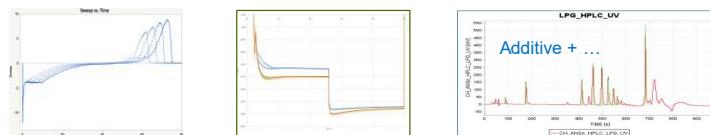
AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

1. Gründe und Ziel für die vorliegende Entwicklung - Arbeitsumfang
2. AP8.1 - Konzeption des Analysesystems
- 3. AP8.2 und 8.3 - Schaffung der Datenbasis**
4. AP8.4 - wurde gestrichen
5. AP8.5 - Entwicklung der automatischen Auswertung der Messdaten
6. AP8.6 - Korrelation der Auswertung mit realen Betriebsdaten
7. AP8.7 - Entwicklung von Regelalgorithmen zur Prozesssteuerung
8. AP8.8 – Aufbau Prototyp und Validierung in industrieller Testumgebung

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

3. AP8.2 und 8.3 - Schaffung der Datenbasis

- Ende 2019 wurden bereits ECA-Messplätze auf ancosys Anlagen bei Kunden in Ostasien gebaut.
- Die Absicht war, sehr schnell zu möglichst vielen Messdaten zu kommen ...
- ... dann kam Corona ...
- Es wurde eine automatisierte Anlage in unserem Entwicklungslabor in Radebeul aufgebaut auf der Kundenproben gemessen wurden.
- 2020 und 2021 Durchführung tausender CVS-, PCGA- und HPLC-Messungen an unterschiedlichsten Kundenproben.



AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

1. Gründe und Ziel für die vorliegende Entwicklung - Arbeitsumfang

2. AP8.1 - Konzeption des Analysesystems

3. AP8.2 und 8.3 - Schaffung der Datenbasis

4. AP8.4 - wurde gestrichen

5. AP8.5 - Entwicklung der automatischen Auswertung der Messdaten

6. AP8.6 - Korrelation der Auswertung mit realen Betriebsdaten

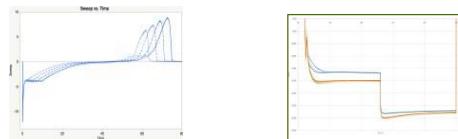
7. AP8.7 - Entwicklung von Regelalgorithmen zur Prozesssteuerung

8. AP8.8 – Aufbau Prototyp und Validierung in industrieller Testumgebung

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

5. AP8.5 Entwicklung der automatischen Auswertung der Messdaten

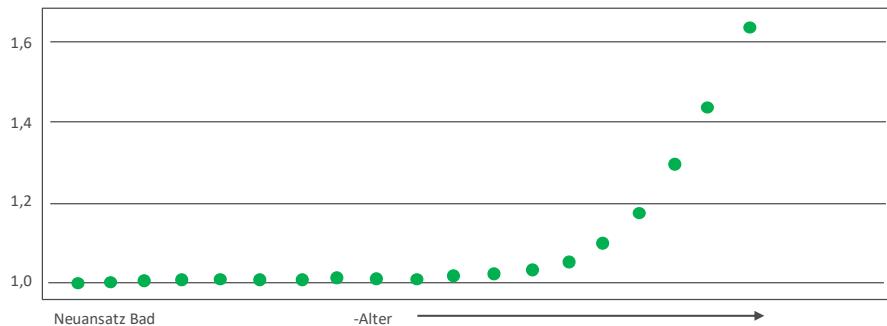
- Die Aufgabe hierzu war die Entwicklung mathematischer Auswerteverfahren die über einfache Zahlenwerte die relevanten Informationen aus den Messungen beschreiben.
- Aus der Abweichung der Analysenergebnisse vom Soll sowie der Abweichung der Werte aus den mVECA-Daten von denen eines frischen Bades wird der "Bath-Health"-Faktor errechnet.



AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

5. AP8.5 Entwicklung der automatischen Auswertung der Messdaten

- Danach könnte sich ein Bad das nur nachdosiert wird etwa so entwickeln:



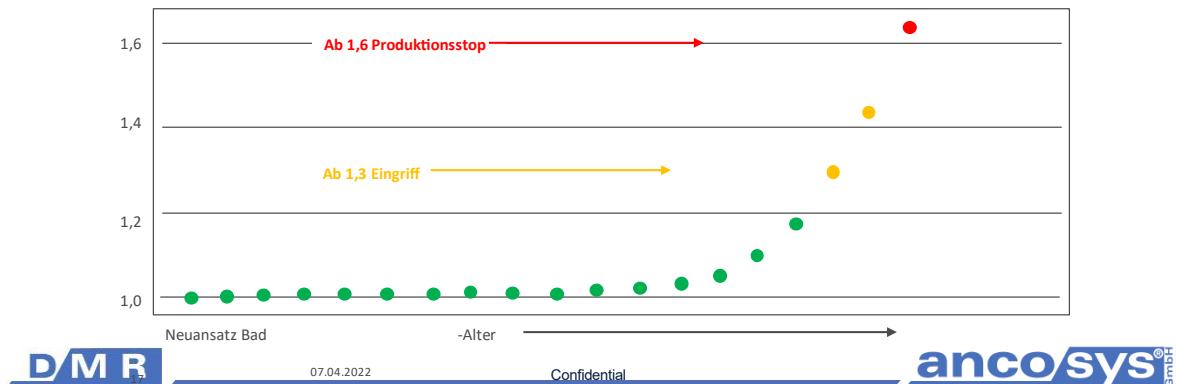
AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

1. Gründe und Ziel für die vorliegende Entwicklung - Arbeitsumfang
 2. AP8.1 - Konzeption des Analysesystems
 3. AP8.2 und 8.3 - Schaffung der Datenbasis
 4. AP8.4 - wurde gestrichen
 5. AP8.5 - Entwicklung der automatischen Auswertung der Messdaten
- 6. AP8.6 - Korrelation der Auswertung mit realen Betriebsdaten**
7. AP8.7 - Entwicklung von Regelalgorithmen zur Prozesssteuerung
 8. AP8.8 – Aufbau Prototyp und Validierung in industrieller Testumgebung

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

6. AP8.6 Korrelation der Auswertung mit den Betriebsdaten

- Der Anwender vergleicht die Bath-Health-Faktoren mit den Betriebsdaten und legt die Punkte für "Eingriff", sowie für Produktionsstop fest:



AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

1. Gründe und Ziel für die vorliegende Entwicklung - Arbeitsumfang

2. AP8.1 - Konzeption des Analysesystems

3. AP8.2 und 8.3 - Schaffung der Datenbasis

4. AP8.4 - wurde gestrichen

5. AP8.5 - Entwicklung der automatischen Auswertung der Messdaten

6. AP8.6 - Korrelation der Auswertung mit realen Betriebsdaten

7. AP8.7 - Entwicklung von Regelalgorithmen zur Prozesssteuerung

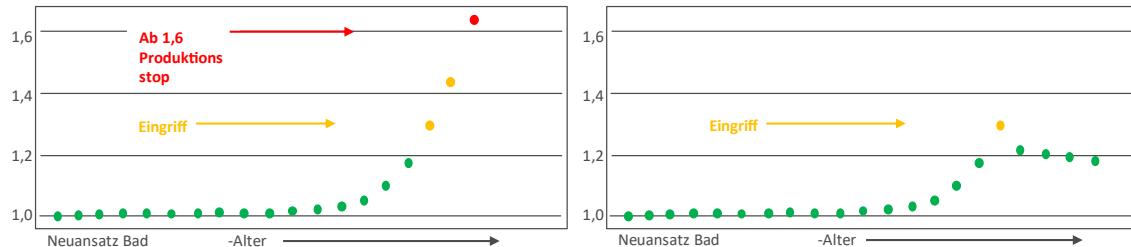
8. AP8.8 – Aufbau Prototyp und Validierung in industrieller Testumgebung



AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

7. AP8.7 Entwicklung der Regelalgorithmen zur Prozesssteuerung

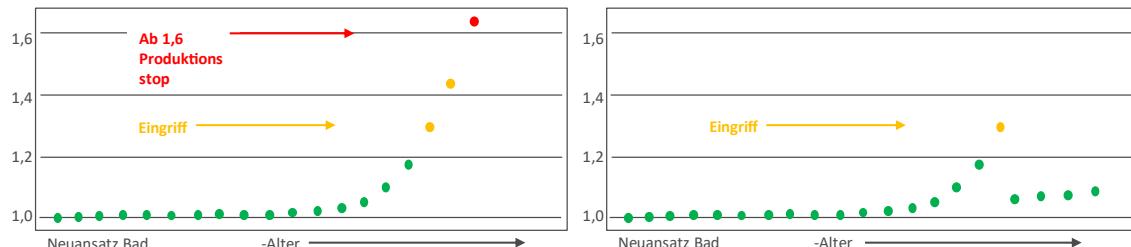
- Es sind Regelalgorithmen programmiert worden die entsprechend der Trendkurve z.B. ein Bleed&Feed ab dem Punkt "Eingriff" auslösen können.
- Dieses Bleed&Feed kann in periodischen kleinen Schritten ausgeführt werden, ohne die Produktion anzuhalten, oder ...



AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

7. AP8.7 Entwicklung der Regelalgorithmen zur Prozesssteuerung

- ... oder es kann in einem größeren, einmaligen Schritt durchgeführt werden (z.B. Austausch des halben Bades) – dies bedingt natürlich einen zeitweisen Produktionsstop.



AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

1. Gründe und Ziel für die vorliegende Entwicklung - Arbeitsumfang

2. AP8.1 - Konzeption des Analysesystems

3. AP8.2 und 8.3 - Schaffung der Datenbasis

4. AP8.4 - wurde gestrichen

5. AP8.5 - Entwicklung der automatischen Auswertung der Messdaten

6. AP8.6 - Korrelation der Auswertung mit realen Betriebsdaten

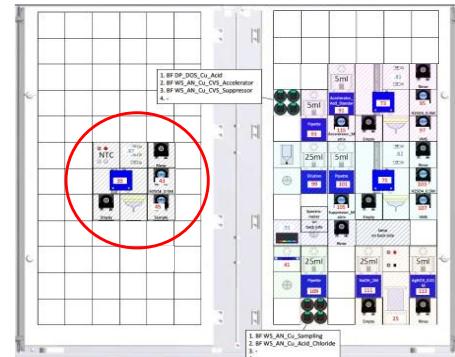
7. AP8.7 - Entwicklung von Regelalgorithmen zur Prozesssteuerung

8. AP8.8 – Aufbau Prototyp und Validierung in industrieller Testumgebung

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

8. AP8.8 Prototyp in industrieller Testumgebung

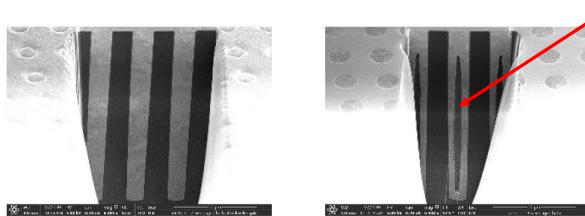
- Aufgrund des modularen Aufbaus der ancosys-Analysen- und Nachdosiersysteme können die neuen Messplätze auf vorhandene Anlagen gebaut werden.
- So wurden bei zwei Kunden Systeme hard- und softwaremäßig mit mVECA-Messplätzen inkl. Auswertung nachgerüstet um in industrieller Umgebung zu testen und zu validieren.
- Ein Beispiel einer sehr gelungenen Integration dieser neuen Messtechnik ...



AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

8. AP8.8 Prototyp in industrieller Testumgebung

- In einem TSV-Prozess tritt ein gravierendes Problem auf:
- aus (noch) nicht nachvollziehbaren Gründen wird in unregelmäßigen Abständen Cu-Bad in den Durchkontaktierungen (TSV) eingeschlossen.
- Erst im übernächsten Prozessschritt (beim Grinden) wird das Problem sichtbar - der Schaden geht schnell in die Hunderttausende (z.B. 75 Wafer á 5.000,- US\$).



- Der Anwender bekommt jetzt beim ersten Auftreten des Problems im Bad eine Warnung
- Der **ancolyzer®** stoppt das Einlegen neuer Wafer und startet den Bleed& Feed Vorgang.

AP8: Vorausschauende Wartung von Elektrolyten

8. AP8 Reaktion auf Auffälligkeiten bei der Badanalyse

- Der Anwender bekommt beim ersten Auftreten einer erkannten Auffälligkeit im Elektrolyten eine Warnung
- Der **ancolyzer®** startet je nach Festlegung:
 1. einen "low volume Bleed& Feed Vorgang" **ohne die laufende Produktion anzuhalten**
 2. oder einen teilweisen Badwechsel → laufende Produktion muss kurzzeitig angehalten werden
 3. auch ein kompletter Badwechsel kann initiiert werden → längerer Produktionsstillstand