
SMART SERVICES & SMART ASSETS FOR PREDICTIVE MAINTENANCE – DIGITALISIERUNG IM PCK SCHWEDT

Kumentag der Cosmo Consult TIC GmbH Magdeburg am 19.11.2020

Andrea Urbansky, Ronny Franke, Fraunhofer IFF und Frank Stargardt, PCK Raffinerie GmbH



© Foto Shutterstock, Christian Lagerek

GLIEDERUNG

1. Begriffsbestimmung und These
2. Rechercheergebnisse zu den Definitionen des Digitalen Zwilling aus Sicht von
 1. Wissenschaft
 2. Verbänden
 3. Unternehmen
3. Rechercheergebnisse der Fachveröffentlichungen
4. Status der Betreiber zur Umsetzung des Digitalen Zwillings (Auswertung Fragebogen)
5. Status der Dienstleister zur Umsetzung des Digitalen Zwillings
6. Definition des Digitalen Zwillings
7. Der Weg der PCK Raffinerie GmbH zum Digitalen Zwilling
8. Das Industriemanagement Schwedt – die Uckermark wird digital

1. Begriffsbestimmung und These

■ Smart Service

- Der Begriff **Smart Service** (Pl. *Smart Services*, dt.: Intelligenter Service) beschreibt die am weitesten entwickelte Stufe datenbasierter, digitaler Dienstleistungsangebote. Sie werden durch Dienstleister für Kunden erbracht, die sogenannte *Smart Products* nutzen (d. h. mit Sensorik ausgestattete, technische Objekte, die Daten aufnehmen und weitergeben können, weil sie mit Software gesteuert und mit einem Netzwerk, z. B. dem Internet, verbunden sind).^[1]

■ Smart Assets

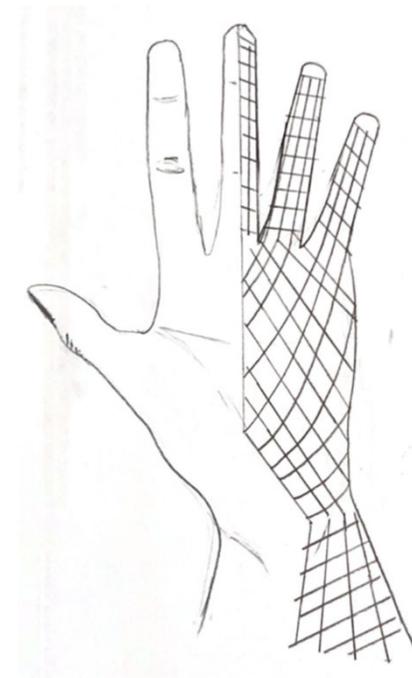
- Smarte Assets sind Produkte und Systeme, die durch IoT-basierte, intelligente Services ergänzt werden, um daraus neue Leistungen für Kunden zu generieren. Das können Produkte bis hin zur Losgröße 1 sein, die nicht mehr als Produkt verkauft und geliefert werden, sondern dem Kunden als Dienstleistung zur Verfügung stehen und nur dessen wertschöpfender Beitrag im Prozess in Rechnung gestellt wird (= *Pay per Use*).

[2] Fraunhofer IOSB (o.J.)

1. Begriffsbestimmung und These

THESE:

Durch Einsatz eines **Digitalen Zwillings** in der **Prozessindustrie** gelingt es, von der Planung, über den Betrieb bis zur Wartung alle Prozesse transparent zu halten und **alle am Prozess Beteiligten** mit den erforderlichen **Daten und Informationen** zu versorgen.



2. Rechercheergebnisse zu den Definitionen des Digitalen Zwilling aus Sicht der Wissenschaft

Fraunhofer IFF → Digitaler Zwilling für den Sondermaschinenbau



IHR NUTZEN

Der digitale Zwilling bietet erhebliche Möglichkeiten für Sie und Ihre Kunden entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Das Modell kann als zentrale Kollaborationsplattform und gemeinsame Kommunikationsbasis dienen. Zudem bietet Ihnen die Softwareunterstützung verschiedenste Mehrwerte, wie die Steuerungsentwicklung am Modell und durchgängige Funktionstests im Engineering sowie Mitarbeiterassistenz, Unterstützung bei der Fehlerbehebung und Informationserfassung im Anlagenbetrieb und in der Instandhaltung.

Mit den Methoden des Fraunhofer IFF entwickelte, digitale Zwillinge stellen die zentrale Struktur der erfassten Daten über alle Unternehmensdomänen dar. So sind alle Informationen der Anlage direkt, überall und immer verfügbar. Damit ist der digitale Zwilling eine maßgeschneiderte Wissensbasis für den Erkenntnisgewinn in der Prozessoptimierung, beispielsweise mit Simulationen. Auf diese Weise können Prozesse entlang der Wertschöpfungskette effizient koordiniert und transparent gestaltet werden und Ihr Unternehmen kann sich zukunftsorientiert aufstellen.

Unsere Angebote im Überblick
Umfassende Beratung und Begleitung beim durchgängigen, virtuellen Engineering und Anlagenbetrieb mit digitalem Zwilling, insbesondere in folgenden Bereichen:

Werkzeuge und Methoden zur Modellerstellung und digitalen Transformation Ihres Engineerings

- Workshops zur Digitalisierung Ihres Engineerings
- VINCENT-Implementierung inkl. Schulung

Prozessanalyse, -optimierung und Qualifizierungsangebote

- Engineering CheckUp
- Planspiel zu agilem Engineering mit digitalem Zwilling

Mehrwerte bei Ihnen mit dem digitalen Zwilling erzeugen

- das skalierbare Assistenzsystem ASSIST

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR FABRIKBETRIEB UND -AUTOMATISIERUNG IFF

Institutsleiter
Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk

Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon +49 391 4090-0
Telefax +49 391 4090-596
ideen@iff.fraunhofer.de
www.iff.fraunhofer.de

Ansprechpartner
Virtual Engineering
Prof. Dr. Ulrich Schmucker
Telefon +49 391 4090-201
Telefax +49 391 4090-250
ulrich.schmucker@iff.fraunhofer.de

www.iff.fraunhofer.de/ve

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 04/2017
Fotos: 1 – 3 Fraunhofer IFF, 4 Daniela Martin, Fraunhofer IFF,
5 Viktoria Kühne, Fraunhofer IFF

DER DIGITALE ZWILLING – IHR GARANT FÜR ERFOLG



[1] Fraunhofer IFF (Flyer 2018)

2. Rechercheergebnisse zu den Definitionen des Digitalen Zwilling aus Sicht der Wissenschaft

■ Fraunhofer IOSB:

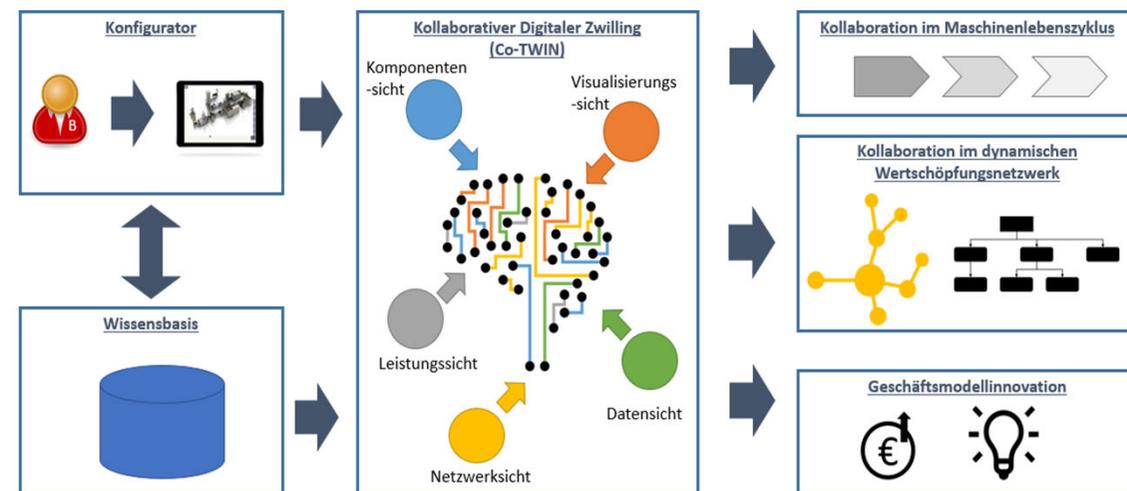
„Unter dem Begriff „Digitaler Zwilling“ versteht das IOSB ein **Konzept**, mit dem Produkte sowie Maschinen und ihre Komponenten mit Hilfe Digitaler Werkzeuge modelliert werden, und zwar einschließlich sämtlicher **Geometrie-, Kinematik- und Logikdaten**. Ein Digitaler Zwilling ist das Abbild des physischen ‘Assets’ in der realen Fabrik und erlaubt dessen Simulation, Steuerung und Verbesserung. Industrie 4.0-Arbeitsgruppen diskutieren Digitale Zwillinge in Verbindung mit der sog. Verwaltungsschale und Industrie 4.0-Komponenten.“

[2] Fraunhofer IOSB (o.J.)

2. Rechercheergebnisse zu den Definitionen des Digitalen Zwilling aus Sicht der Wissenschaft

■ TU Chemnitz

„[...] Ansatz eines Digitalen Zwillings, der als digitale Abbildung von Maschinen anlagenbezogene Daten in nutzbarer Form sammelt, aufbereitet und präsentiert. Aktuelle Lösungen zielen jedoch vor allem auf die Betriebsphase einer Anlage. Die vorgelagerten Phasen und die Integration des Wertschöpfungsnetzwerkes inklusive der Kunden wurden bisher kaum berücksichtigt.“



[3] TU Chemnitz (o.J.)

2. Rechercheergebnisse zu den Definitionen des Digitalen Zwilling aus Sicht der Verbände

■ VCI / Deloitte:

„Dieser „digitale Zwilling“ ist eine **Applikation/Simulation**, die die operativen und Umgebungsdaten der **physischen Prozesse einer Anlage aggregiert** und mit Unternehmensdaten wie beispielsweise der Materialliste zu einem digitalen Echtzeit-Modell kombiniert. In diesem Modell können nun verschiedene Anlagenzustände und -abweichungen mithilfe von Algorithmen schnell, risikolos und umfangreich simuliert und hinsichtlich der Auswirkungen analysiert werden.“

[4] VCI, Deloitte (2017): Industrie 4.0

2. Rechercheergebnisse zu den Definitionen des Digitalen Zwilling aus Sicht der Verbände

■ Namur

„[E]in Digitaler Zwilling kann insbesondere **Objekte im Planungsstadium oder im As-Built-Zustand so beschreiben**, dass die Eigenschaften des Objekts im fertigen Zustands charakterisiert werden.

Eines der Hauptanwendungsgebiete von Digitalen Zwillingen ist ein übergreifender **Informationsaustausch über die Wertschöpfungskette** eines Produkts. Hierzu ist die Fähigkeit notwendig, verschiedene Gewerke und Informationen in einer einheitlichen Sprache zu repräsentieren. Zusätzlich werden Algorithmen verwendet, die das Verhalten der Objekte der realen Welt mit einer geeigneten Genauigkeit beschreiben. Beispiele hierfür sind Simulationsmodelle.“

[5] Namur (2019)

2. Rechercheergebnisse zu den Definitionen des Digitalen Zwilling aus Sicht der Verbände

- Digitale Darstellung einer realen Anlage in Echtzeit
- Repräsentiert Merkmale und Verhalten der Anlage
- Kontinuierlich aus verschiedenen Datenquellen gespeist (Sensoren, IoT, Materiallisten, Planungstools,)
- Schnelle und risikofreie Simulation durch Algorithmen
- Informations – und Simulationsmodell

[4] VCI, Deloitte (2017), [5] Namur (2019),

[6] ARC Whitepaper (2019), [7] VDE (2018), [8] ZVEI (2016)

2. Rechercheergebnisse zu den Definitionen des Digitalen Zwilling aus Sicht der Unternehmen

■ Siemens

„Der digitale Zwilling hat längst Einzug in die Industrie gehalten und revolutioniert dort die Abläufe entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Als **virtuelles Abbild des Produkts, der Produktion oder der Performance** ermöglicht er eine nahtlose Verknüpfung der einzelnen Prozessschritte. Das steigert durchgängig die Effizienz, minimiert die Fehlerquote, verkürzt die Entwicklungszyklen und eröffnet außerdem neue Geschäftsmöglichkeiten – sorgt also für eine nachhaltig gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit.“

[9] Siemens (2018)

2. Rechercheergebnisse zu den Definitionen des Digitalen Zwilling aus Sicht der Unternehmen

■ CADFEM

- „Der Digitale Zwilling ist ein **digitales Abbild eines individuellen Produktes**, das sein physisches Pendant sein Leben lang begleitet. Sobald ein Produkt entsteht, produziert und montiert wird und in Betrieb geht, durchlebt es eine eigene Historie, in der seine Eigenschaften individuell beeinflusst werden.“
- „Hier bietet der Digitale Zwilling **erweiterte Informationen durch virtuelle Sensoren**, das heißt durch Berechnungsergebnisse einer kontinuierlich aktualisierten Simulation. Denn die in der Realität auftretenden Lasten werden gleichzeitig in der Simulation berücksichtigt, indem die realen Sensordaten als Randbedingungen in das Simulationsmodell eingespeist werden.“
- „Der Digitale Zwilling ist also ein **Simulationsmodell**, das mit den aktuell vorhandenen Randbedingungen beim Betrieb eines Produkts oder einer Anlage gespeist wird und das Aussagen liefert, wie der momentane Zustand aller relevanten Produkteigenschaften aussieht.“

[10] CADFEM (2017)

2. Rechercheergebnisse zu den Definitionen des Digitalen Zwilling

Auswertung Recherche:

- Virtuelles, exaktes Abbild eines physischen, realen Produkts oder Produktion, Maschine oder Anlage, Objekten oder Systemen
- Im gesamten Anlagenzyklus, aber v.a. in der Nutzungsphase
- Aktuelle Sensordaten, Geschäftsdaten, Verknüpfung mit ERP-System
- Beidseitige Verknüpfung von realer und digitaler Anlage
- Simulationen und Analysen zur Optimierung von Prozessen und vorausschauender Wartung

[11] Fraunhofer IFF

3. Rechercheergebnisse der Fachveröffentlichungen

■ Gesellschaft für Informatik

„Digitale Zwillinge sind **digitale Repräsentanzen von Dingen** aus der realen Welt. Sie beschreiben sowohl physische Objekte als auch nicht-physische Dinge wie zum Beispiel Dienste, indem sie alle relevanten Informationen und Dienste mittels einer einheitlichen Schnittstelle zur Verfügung stellen. [...] Digitale Zwillinge sind jedoch mehr als reine Daten. Sie **beinhalten Algorithmen**, die ihr Gegenstück aus der realen Welt akkurat beschreiben. Häufig handelt es sich dabei um **Simulationsmodelle**, die zum Beispiel funktionale oder physische Eigenschaften des digitalen Zwillings simulieren.“

[12] Gesellschaft für Informatik

3. Rechercheergebnisse der Fachveröffentlichungen

Größte Herausforderungen:

- Schnittstellen: Verschiedene Phasen des Anlagenlebenszyklus benötigen unterschiedliche Werkzeuge, welche oft keine kompatiblen Schnittstellen besitzen, wodurch Daten verloren gehen [13]
- Reifegrad der anwendenden Unternehmen: benötigt digitale Strategie, welche sich auf die gesamte Wertschöpfung des Unternehmens bezieht (nicht einzelne Technologien) [6]
- Konsistentes Anlageninformationsmodell: einheitliche Anlagenbeschreibung mit internationalen Standards [14]
- Interoperabilität zwischen allen kooperierenden Partnern (Internet der Dinge und Internet der Dienste) [15]

[14] Schüller et al 2019, [13] Wiedau et al (2019)
[6] ARC Whitepaper (2019), [15] Diedrich et al (2014)

4. Status der Betreiber zur Umsetzung des Digitalen Zwillings (1) (Auswertung Fragebogen)

■ Technologien

- Aufnahme und Aufmaß
- Fotometrische Aufnahmen
- Laserscanning
- Photogrammetrie (3D-Vermaschungen)
- Drohnen
- 3D-Modelle, Ausmodellierungen
- GIS, Verifikation von Koordinatensystemen

■ Software/Tools

- CAD
3D: PDMS, Smart 3D, Aveva E3D, Autodesk RECAP, keine
2D: SPID, MSTN, Autocad und Microstation
- CAE: Comos, Process Toolbox from Integraph (S3D, SPPID, SPI, SPEL), Revit from Autodesk (Revit Architecture, Structure, MEP, CM)
- Viewer: Autodesk Navisworks, 3DVia, MS Hololens MS Visio, Leica TruView
- Sonstiges: SAP, GE APM, SQL-Technik, HEXAGON, Bentley ProjectWise, Autodesk BIM 360

Befragte Betreiber: BASF, Bayer, DOW, EVONIK, PCK, OMV, TOTAL Raffinerie, Wacker

4. Status der Betreiber zur Umsetzung des Digitalen Zwillings (2)

- Erforderliche Schnittstellen
 - zwischen verschiedenen Tools in Aufnahme – Modellierung – Informationsbearbeitung – Darstellung
 - zwischen den Toolboxen (z B. Autodesk und Hexagon)
 - zwischen Projekt Toolbox und standortspezifischen Systemen/Partnerfirmen
 - zur Integration von bestehender Bestandsdokumentation (2D und 3D)
 - zum Dokumentenmanagementsystem (CDE)
zum Facility Management System
zum Asset Management System
 - zwischen Realität und digitale Welt (Terminplan, digitaler Zwilling, Ortungssystem, ...)
zwischen Intranet und Internet (ext. Cloud z.B.)

4. Status der Betreiber zur Umsetzung des Digitalen Zwillings (3)

- Wünsche für die nächsten 5 Jahre in Bezug auf Digitalisierung
 - Digitalisierung und Bereinigung von alten Datenbeständen zum Aufbau einer einheitlichen Datenbank; Single Source of Truth (SSoT)
 - Standardisierung und Harmonisierung von Daten, Schnittstellen und Tools über die gesamte Wertschöpfungskette
 - Daten breiter Nutzergruppe zugänglich machen
 - 3D-Modelle im gesamten Anlagenlebenszyklus

5. Status der Dienstleister zur Umsetzung des Digitalen Zwillings

■ Angebotene Dienstleistungen

- Laserscanning, Tracking und Photogrammetrie
- Qualitätsicherungsmessungen
- Modellgenerierung, Analysen
- Anlagenplanung
- Viewerbereitstellung
- Datenbank

■ Tools

- Scanner von Leica, ZF, FARO
- Handscanner, Lasertracker, Tachymeter
- Drohnen, Multicopter

■ Software

- Leica Cyclone, Trimble 3DIpsos, Reshaper, Geomagic (Punktwolken)
- Intergraph Cadworx, Smartplant S3D, Smartplant P&ID, AVEVA PDMS, COMOS
- Autodesk (Autocad, Navisworks, Recap, Plant3D), Inventor, Revit, MicroStation, SuCAD
- Leica True View, Z+F Viewer

Befragte Dienstleister: BKR, PETERSEN, VSG, Weber Engineering

5. Definition des Digitalen Zwilling aus TAK „Plant-Information Model“ vom 08.10.2019 mit Ergänzungen vom IAK »Kooperation im Anlagenbau« vom 05.11.2020 (1)

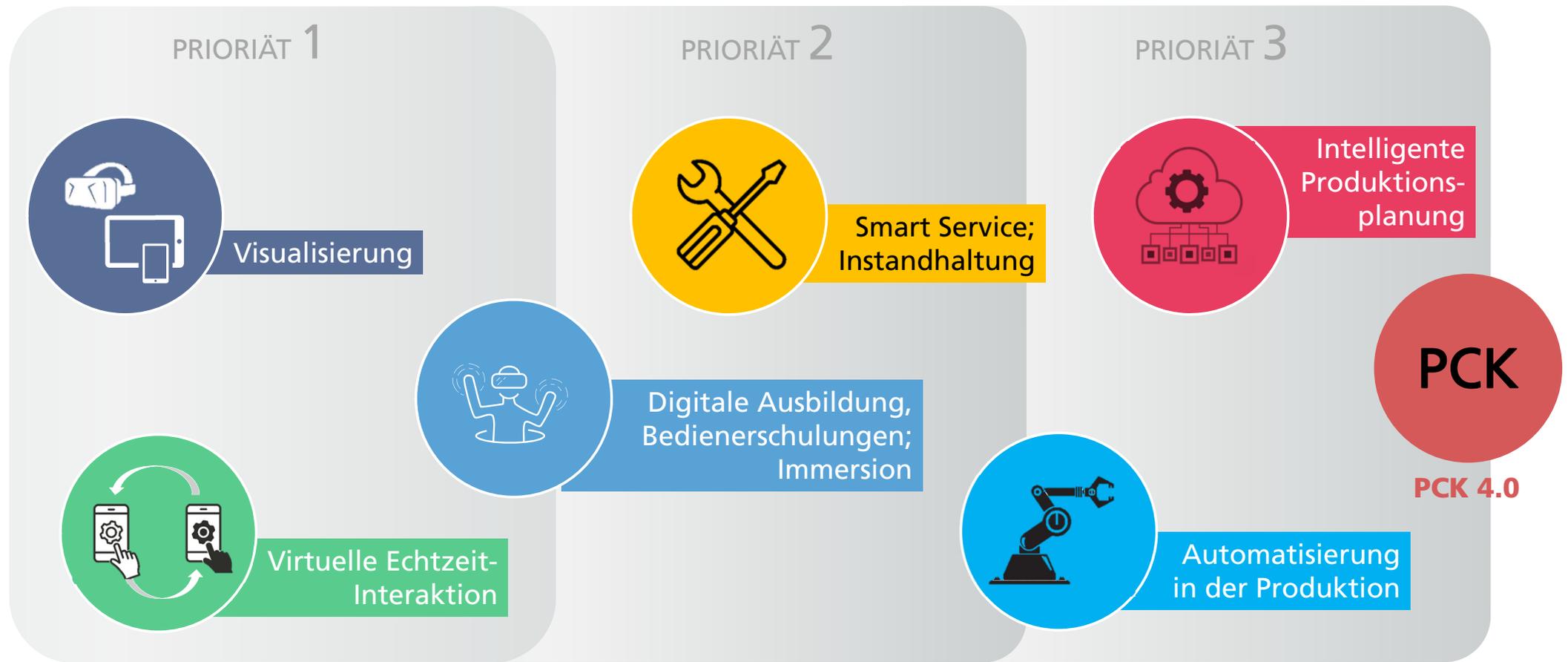
- Der Digitale Zwilling besteht aus zwei Komponenten:
 - 3D-Modell (Geometrie, Simulationsmodell); Punktwolke (detailgenau, aber keine Oberflächen), CAD-Modell ohne Objekttypen, objektorientiertes Modell
 - Informationen (Sachdaten, Informationsmodell) werden durch den konkreten Anwendungsfall bestimmt
- Beide Modelle greifen auf eine gemeinsame Datenbank zurück
- Der Einsatz von Cloudlösungen, KI und Big Data machen den DT attraktiv. Der DT muss für Predictive Maintenance genutzt werden, damit werden Potenziale gehoben.
- Einsatz von Webplattformen und ein zentraler DatenHub machen den DT wirtschaftlich und führen zu einem positiven ROI von 3 Monaten bis 2 Jahren.
- Simulation der physikalischen Effekte mittels DC 43 Compiler und Automation ML in Echtzeit bringen Mehrwerte für Planung und Betrieb.
- Die Nutzung des PhO trägt zur Prozess-und Energieeffizienz von Anlagen bei.

Mitarbeit im TAK: BASF, DOW, Wacker, Evonik, OMV, Bayer, TRM, PCK, BKR, Petersen, Weber Engineering, VSG...

5. Definition des Digitalen Zwilling aus TAK „Plant-Information Model“ vom 08.10.2019 mit Ergänzungen vom IAK »Kooperation im Anlagenbau« vom 05.11.2020 (1)

- Stand bei Anwendern: abstrakter Wunsch bis klare, umsetzbare Vorstellungen
- Motivationen zum Aufbau eines digitalen Zwilling
 - Erhoffte Wertschöpfung über alle am Prozess Beteiligte
 - Standardisierung von Prozessen zur besseren Zusammenarbeit in Gewerken und Anlagen, Nutzung Cloud, Sensorik...
 - Vermeidung von Redundanzen und Inkonsistenzen bei Daten; Beherrschen des Änderungsmanagements
- Anforderungen: Lebenszyklusbetrachtung
 - Digitaler Zwilling in der Planung; einheitliche Daten
 - Digitaler Zwilling als as-built-Modell
 - Digitaler Zwilling zur Wartung
 - Digitaler Zwilling zur Simulation von Prozessen

7. Der Weg zum Digitalen Zwilling in der Prozessindustrie



7. Der Digitalen Zwilling in der Prozessindustrie

ROADMAP FÜR DIE PCK RAFFINERIE GMBH Teilprojekte



FORMALITÄTEN

- Geheimhaltungsvereinbarung;
- Rahmenvertrag
- Datenaustausch
- Beauftragung der einzelnen aufeinander aufbauenden Teilprojekte

VISUALISIERUNG

- Erarbeitung des PCK-individuellen Standortinformationssystems (SIS)
 - Erweiterung des SIS
 - Spezifikation des SIS
 - *aus Sicht Marketing*
 - *aus Sicht Produktion*
 - *aus Sicht Ausbildung*

ELBEDOME

- Überführung der virtuellen interaktiven Szenarien (Virtuelles Werksmodell) in den ElbeDome des VDC
- Einsatz des ElbeDome für Kontraktorenqualifikation/Virtueller Marktplatz
- Wissensvermittlung und Kreativitätsraum
- Support für Campuserwicklung mit Kompetenzzentrum für techn. Diagnostik

VIRTUELLER AUSBILDUNGSPLATZ

- Umsetzung des Projektes „Virtueller Ausbildungsplatz“
- Einsatz von AR/VR in der Ausbildung spezifischer Berufe
- Entwicklung einer echtzeitnahen Interaktionsschnittstelle

VIRTUELLE PROZESS-AUSRÜSTUNGEN

- Visualisierung, Simulation des Prozessverhaltens von Assets am Beispiel des virtuellen Kompressors, der virtuellen Bodenkolonnen u.a.
- Definition und Umsetzung von UseCases

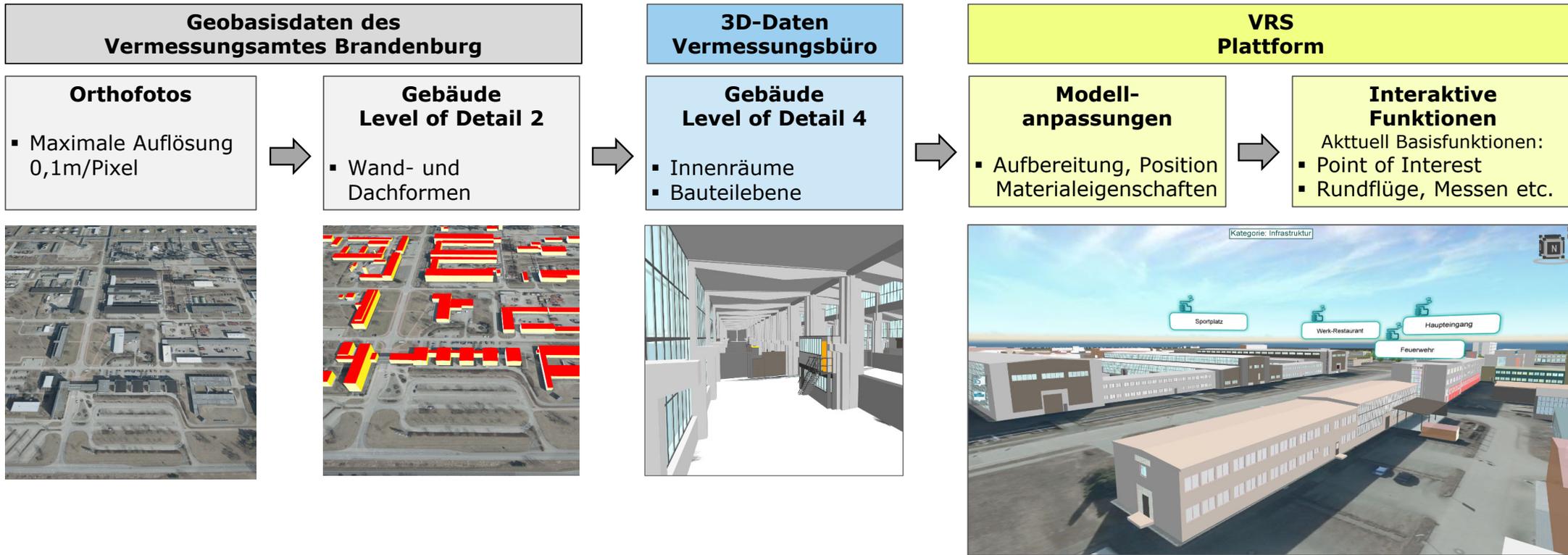
SERVICEUNTERSTÜTZUNG

- Entwicklung von AR/VR basierten Operator- und Instandhaltungsschulungen mit dem Ziel einer gesteigerten Kundenattraktivität (z.B. virtuelles Handhabungstraining vor Inbetriebnahme der Anlage)
- Definition der VR-Szenarien sowie der zu verwendenden Endgeräte
- *Assettracking*
- *Predictive Maintenance Konzepte für das Kompetenzzentrum technische Diagnose*

PCK 4.0

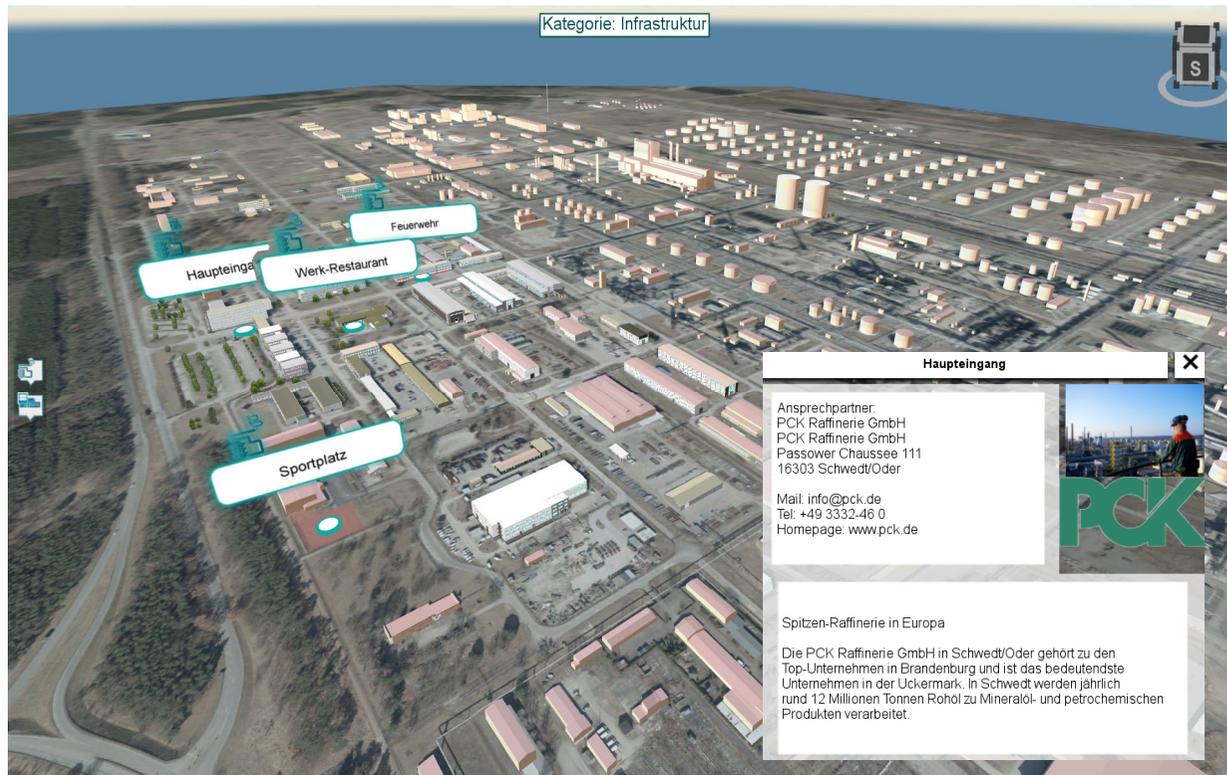
PCK Raffinerie GmbH Schwedt/Oder

Virtuell-interaktives 3D-Modell des Standortes (Status 2019)



PCK Raffinerie GmbH Schwedt/Oder

Virtuell-interaktives 3D-Modell des Standortes (Status 2019)



Status – Aktueller Arbeitsstand

- Ca. 20 km² Visualisierungsvolumen
- Bauwerke des gesamten PCK Geländes im LoD 02
- 110 Gebäude im LoD 04 (Innenräume)
- Beispielhafte POIs

- Lokaler Arbeitsplatz
- Noch keine Anlagentechnik
- Noch keine Dynamiken und Anbindung an verteilte Sensorik

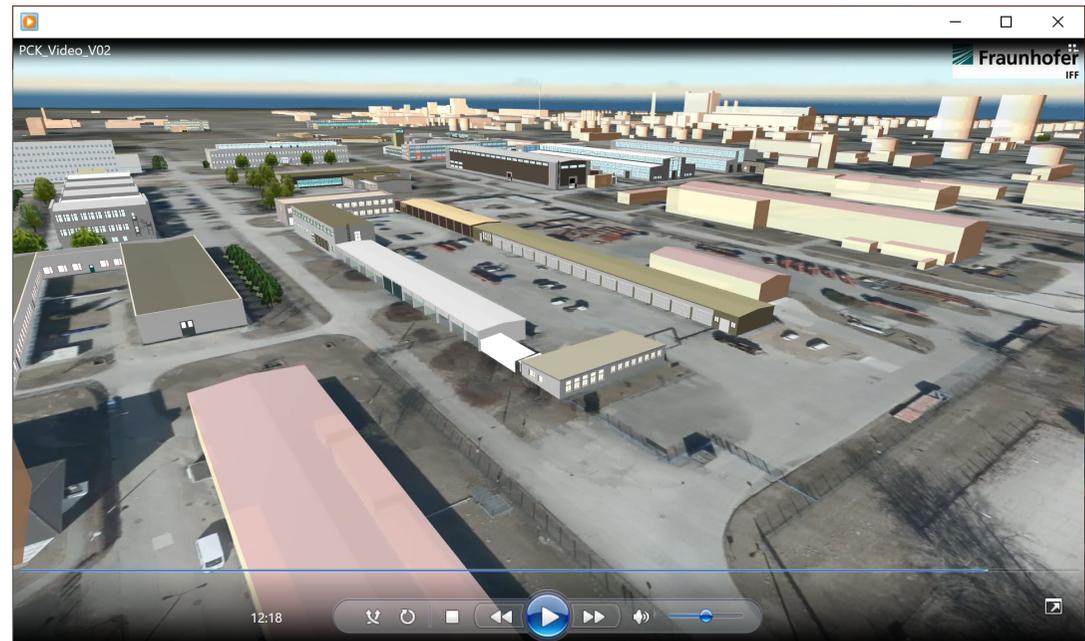
- Demonstrator zur Aktivierung von weiterem Projektvolumen in der PCK

PCK Raffinerie GmbH Schwedt/Oder

Next Steps

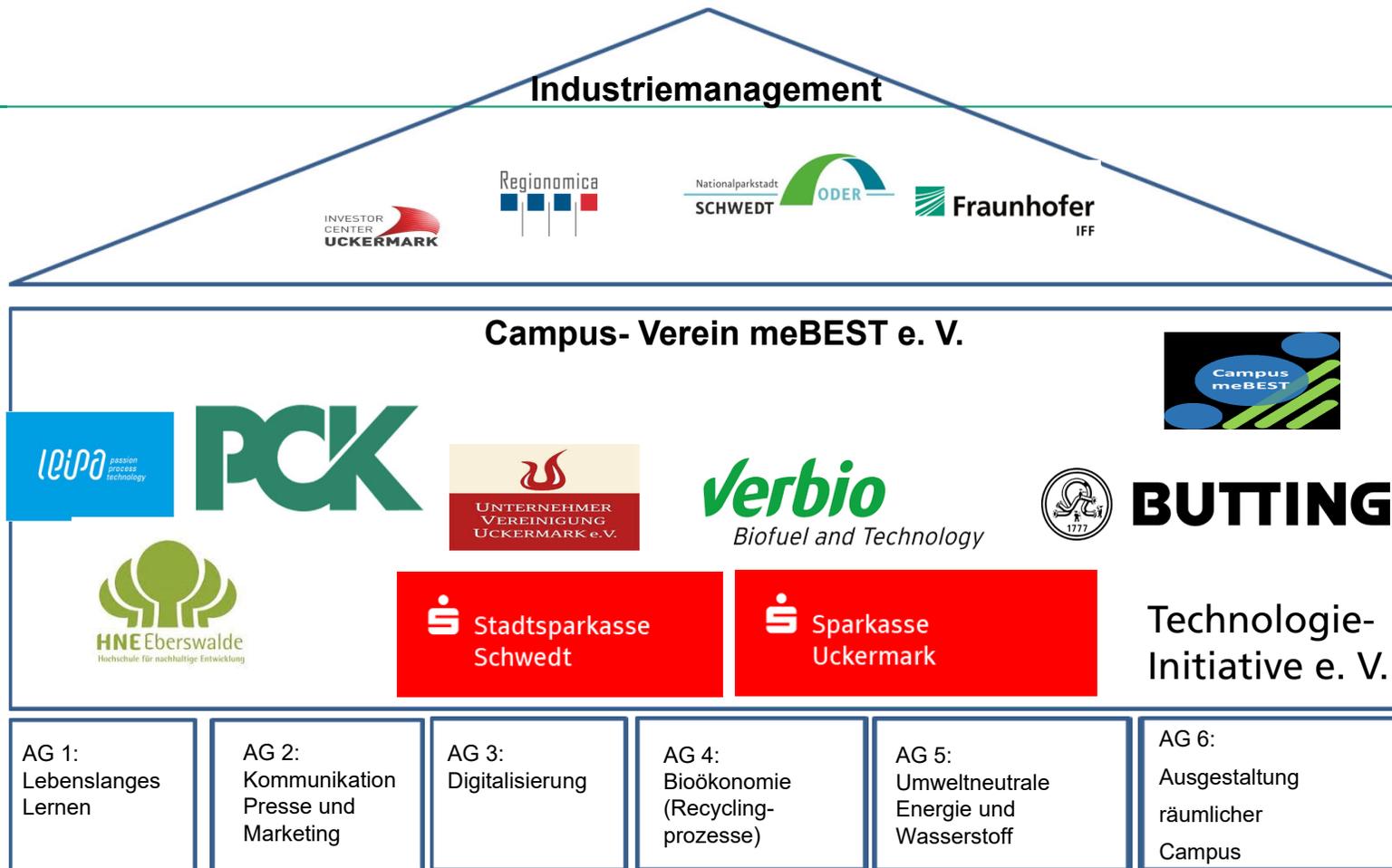
PCK Schwedt auf dem Weg zum Virtuellen Zwilling

- Digitalisierung des Industrieparks von Infrastruktur bis auf Maschinenebene
- Visualisierung von Arbeitsprozessen, Digitale Aus- und Weiterbildung
- Smart Assets, Einsatz und Monitoring von Sensoren, Auswertung mit KI für Smart Maintenance
- Smart Logistik, Visualisierung des Trackens von Material und Fahrzeugen
- Integration von Power2X Konzepten zu Energieeffizienzbetrachtung und Simulation von Lastspitzen



Ziel: Effizienzoptimierung

DAS INDUSTRIEMANAGEMENT SCHWEDT – DIE UCKERMARK WIRD DIGITAL



Ihr Technologiepartner für angewandte Forschung in Sachsen-Anhalt



**Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
-automatisierung IFF**

Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Andrea Urbansky
Telefon: +49 391 4090-321
andrea.urbansky@iff.fraunhofer.de
www.iff.fraunhofer.de

**Virtual Development and Training Centre des Fraunhofer IFF
Magdeburg**

Joseph-von-Fraunhofer-Straße 1
39106 Magdeburg



Hinweis:

www.iak-anlagenbau.de

IAK Laserscanning + VR im Anlagenbau

IAK Kooperation im Anlagenbau

IAK Smart Industrie Park – Smart Assets

Quellenangaben

- [1] Fraunhofer IFF (2019): Jahresbericht, S. 40, <https://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/de/dokumente/publikationen/jahresbericht-2019-fraunhofer-iff.pdf>
- [2] Fraunhofer IOSB (o.J.): Digitaler Zwilling, www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/80212/ (18.12.2019).
- [3] TU Chemnitz (o.J.): Collaborativer Digitaler Zwilling in Wertschöpfungsnetzwerken (Co-TWIN). Projektbeschreibung, www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/wi1/projekt/collaborativer-digitaler-zwilling-in-wertschoepfungsnetzwerken-co-twin/ (18.12.2019).
- [4] VCI, Deloitte (2017): Chemie 4.0. Wachstum durch Innovation in einer Welt im Umbruch. Endbericht.
- [5] Namur (2019): AK-POSITION Digitaler Zwilling in der Prozessautomation (Stand: 2019-08-14).
- [6] ARC Whitepaper (2019): Erstellen und Bereitstellen Digitaler Zwillinge in der Prozessindustrie, Whitepaper April 2019.
- [7] VDE (2018): Der Digitale Zwilling ist Wegbereiter für alle Industrie-4.0-Netze, <https://www.vde.com/topics-de/industry/aktuelles/digitaler-zwilling-wegbereiter-fuer-industrie-40> (18.12.2019).
- [8] ZVEI (2016). Studie. Die Elektroindustrie als Leitbranche der Digitalisierung. Innovationschancen nutzen, Innovationshemmnisse abbauen.
- [9] Siemens (2018): Digitalisierung in der Industrie: Zwillinge mit Potenzial, <https://new.siemens.com/global/de/unternehmen/stories/industrie/der-digitale-zwilling.html> (18.12.2019).
- [10] CADFEM (2017): Virtuelles Abbild des realen Verhaltens. CADFEM Journal 02 /2017, S. 42-43.
- [11] Fraunhofer IFF: Zusammengefasste Ergebnisse des TAK PIM vom 8.10.2019, Magdeburg.
- [12] Gesellschaft für Informatik (o.J.): Informatiklexikon: Der Digitale Zwilling, <https://gi.de/informatiklexikon/digitaler-zwilling/> (11.12.2019).
- [13] Wiedau, Michael, Lars von Wedel, Heiner Temmen, Richard Welke, and Nikolaos Papakonstantinou (2019): ENPRO Data Integration: Extending DEXPI Towards the Asset Lifecycle. Chemie Ingenieur Technik, 91(3), 240-255.
- [14] Schüller, Andreas, Modersohn, Arne, Kawohl, Marcel, Wrede, Jannik (2019): Der Digitale Zwilling in der Prozessindustrie. atp magazin, 61(1-2), 70-81.
- [15] Diedrich, Christian, Meyer, Matthias, Evertz, Lars, Schäfer, Wilhelm (2014): Dienste in der Automatisierungstechnik. Automatisierungsgeräte werden I40-Komponenten, atp magazin, 56(12), 24-35.