

Vorlage zur Gestaltung einer Projektskizze

zur Förderung durch das BMWK, Referat VIB3, Entwicklung digitaler Technologien

Titel der Projektskizze: Climate-neutral circular economy enabled by Digital Product Carbon Pass

Projektkronym: CliCE-DiPP

Förderaufruf: Green Tech Innovationswettbewerb „Digitale Technologien als Schlüssel für die ökologische Transformation der Wirtschaft“

Laufzeit: 01.05.2023 - 30.04.2026

Darmstadt, 21.10.2022

Angaben zum Einreicher der Projektskizze (Verbundkoordinator)

Firma	Software AG		
Institution			
Abteilung			
/	Research		
Institut			
Anrede	Herr	Vorname	Harald
Titel	Dr	Nachname	Schöning
Telefon	06151 - 921085	E-Mail	Harald.schoening@softwareag.com
Gesamtvolumen: 7.807.499,22 €		Fördervolumen: 5.438.879,22 €	
Software AG			
Ansprechpartner: Dr. Harald Schöning, harald.schoening@softwareag.com , 06151 – 921085, Uhlandstraße 12, 64297 Darmstadt			
Gesamtvolumen: 1.899.000,00 €; Fördervolumen: 759.600,00 €; Förderquote: 40 %; Anzahl der Unteraufträge: 0; Volumen der Unteraufträge: 0 €			

<p>Technische Universität Darmstadt, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen</p> <p>Prof. Dr.-Ing. Mathias Weigold; m.weigold@ptw.tu-darmstadt.de; 06151/1620080; Otto-Berndt-Straße 2</p> <p>Gesamtvolumen: 2.960.099,22 €; Fördervolumen: 2.960.099,22 €; Förderquote: 100 %; Anzahl der Unteraufträge: 4; Volumen der Unteraufträge: 534.172,06 €</p>
<p>KIT – wbk Institut für Produktionstechnik</p> <p>Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza; gisela.lanza@kit.edu; Kaiserstraße 12; 76131 Karlsruhe</p> <p>Gesamtvolumen: 795.000,00 €; Fördervolumen: 795.000,00 €; Förderquote: 100 %; Anzahl der Unteraufträge: 1; Volumen der Unteraufträge: 75.000,00 €</p>
<p>Lorenz GmbH & Co.KG</p> <p>Dr. Ing. Dietmar Grimm; dietmar.grimm@lorenz-meters.de; +49 7384 95 981-36; Burgweg 3; 89601 Schelklingen - Ingstetten</p> <p>Gesamtvolumen: 628.200,00 €; Fördervolumen: 314.100,00 €; Förderquote: 50 %; Anzahl der Unteraufträge: 1; Volumen der Unteraufträge: 150.000,00 €</p>
<p>BRUNATA-METRONA GmbH & Co. KG</p> <p>Udo Keil; Udo.Keil@brunata-muenchen.de; +49 89 78595-0; Aidenbachstraße 40; 81379 München</p> <p>Gesamtvolumen: 460.200,00 €; Fördervolumen: 184.080,00 €; Förderquote: 40 %; Anzahl der Unteraufträge: 0; Unteraufträge: 0; Volumen der Unteraufträge: 0 €</p>
<p>Protektorwerk Florenz Maisch GmbH & Co. KG</p> <p>Ansprechpartner: Dr. Jörg Böllhoff Technischer Leiter, Joerg.Boellhoff@Protektor.de, 07225/977205, Viktoriastraße 58, 76571 Gaggenau</p> <p>Gesamtvolumen: 554.000,00 €; Fördervolumen: 221.600,00 €; Förderquote: 40 %; Anzahl der Unteraufträge: 0; Volumen der Unteraufträge: 0 €</p>
<p>Festo SE & Co.KG</p> <p>Ansprechpartner: Björn Sautter; +49 711 347-56385; bjoern.sautter@festo.com, Rüter Straße 82, 73734 Esslingen</p> <p>Gesamtvolumen: 511.000,00 €; Fördervolumen: 204.400,00 €; Förderquote: 40 %; Anzahl der Unteraufträge: 0; Volumen der Unteraufträge: 0 €</p>

Inhaltsverzeichnis

Abstract	1
1. Ziele des Vorhabens	1
2. Erforderlichkeit des Vorhabens	3
3. Möglichkeiten zur breiten Nutzung, Verwertung der Ergebnisse	5
4. Beschreibung des Lösungsweges und der Arbeitspakete	5
5. Anforderungen an das Konsortium.....	10
Literatur	I
Anhang	III
A.1. DAS KONSORTIUM.....	III
A.2. LETTER OF INTENT	X

Abstract

Ziel von CliCE-DiPP ist es, auf Basis der Verwaltungsschale einen digitalen CO₂-Produktpass zu entwickeln, der unternehmensübergreifend alle relevanten Nachhaltigkeits- und Energiedaten enthält. Die Sammlung dieser quer über die Wertschöpfungskette verteilten Daten stellt selbst große Unternehmen vor Schwierigkeiten. Gleichzeitig steigt der Druck von Gesetzgeber und Markt, die eigenen – und tatsächlichen – CO₂-Emissionen auszuweisen. Der digitale Produktpass gibt dabei aber nicht nur Aufschluss über den jeweiligen CO₂-Fußabdruck, sondern ermöglicht es darüber hinaus auch, den Produktionsprozess energie- und ressourcenschonend zu steuern – und das über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg. Zugleich schafft der digitale Produktpass die Voraussetzung für die Entstehung einer Kreislaufwirtschaft, indem er alle relevanten Produktinformationen über seinen gesamten Lebenszyklus hinweg enthält.

1. Ziele des Vorhabens

Das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) [1] sieht eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 65 % im Vergleich zu 1990 bis zum Jahr 2030 und Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 vor. Im KSG wird vor allem die Industrie als relevantes Handlungsfeld identifiziert [1], da diese im Jahr 2020 27 % (179 Mio t CO₂-Äquivalente) der Treibhausgasemissionen in Deutschland verursachte [2]. Ein wichtiger Baustein, um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, ist die Nutzung von digitalen Technologien. Sie ermöglichen es, die Produktion ökonomisch und ökologisch nachhaltiger zu gestalten, indem Ressourcenverbräuche zunächst erfasst und anschließend optimiert werden können. Aktuell ist allerdings in vielen Unternehmen das Wissen darüber, welche Emissionen an welcher Stelle im Unternehmen oder entlang der Lieferkette entstehen, nicht vorhanden [3]. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil einer umfassenderen Umstellung der Industrie auf Klimaneutralität ist die Kreislaufwirtschaft (engl. Circular Economy (CE)). Auch hier stellt der Einsatz digitaler Technologien zur Verfolgung, Rückverfolgung und Abbildung von Ressourcen eine Grundvoraussetzung dar [2].

Ziel des Forschungsprojektes CliCE-DiPP ist die Entwicklung eines digitalen CO₂-Produktpasses und darauf aufbauender Analyse- und Optimierungswerkzeuge zur Befähigung einer treibhausgasneutralen Produktion und CE. Zur Erreichung dieses Zieles wird die Lieferkette sowohl horizontal als auch vertikal betrachtet. Zum Verständnis dieser beiden Ansätze ist bei der Ermittlung des unternehmensinternen produktspezifischen CO₂-Fußabdrucks (engl. Product Carbon Footprint (PCF)) eine Unterscheidung hinsichtlich des Digitalisierungsaufwandes zu treffen. Die horizontale Betrachtung adressiert sowohl den Wertstrom innerhalb der Unternehmensgrenzen als auch in der Lieferkette. Die Bestimmung des PCF erfolgt hierbei allerdings primär anhand von Daten aus dem Manufacturing Execution System (MES) oder Enterprise-Resource-Planning (ERP)-System, welche über standardisierte Schnittstellen verknüpft werden. Im Vergleich zur vertikalen Betrachtung handelt es sich hierbei um einen geringeren Digitalisierungsaufwand (Trade-off zwischen Genauigkeit und Digitalisierungsaufwand). Bei der vertikalen Betrachtung werden einzelne Prozesse im Unternehmen analysiert und diese zur Berechnung eines PCF in Echtzeit befähigt. Für diese detaillierte Ermittlung des PCFs ist ein umfangreiches Monitoring der entsprechenden Produktionsanlagen erforderlich, weshalb diese mit entsprechender Sensorik ausgestattet werden. Hierbei werden zur Ermittlung des PCF die zuvor verwendeten MES- und ERP-Daten um Maschinendaten erweitert, um so eine verursachungsgerechte Ermittlung des PCF umzusetzen.

Bei der Betrachtung über die gesamte Lieferkette wird der PCF mittels der Verwaltungsschale (Asset Administration Shell, AAS) über Unternehmensgrenzen hinweg durch standardisierte Schnittstellen übertragen und damit der digitale CO₂-Produktpass umgesetzt. So soll aufgezeigt werden, wie Daten über einen globalen Verbund weitergegeben, aber auch weitere Sektoren miteingebunden werden können und damit eine verursachungsgerechte Allokation der Emissionen im digitalen CO₂-Produktpass erfolgen kann. Dieser ermöglicht verschiedene digitale Tools zur Optimierung des PCF sowohl unternehmensintern als auch für die gesamte Lieferkette. Dadurch wird die Bewertung von Potenzialen verschiedener Kreislaufstrategien ermöglicht, was eine essenzielle Grundlage für die Steuerung von Materialrückflüssen im Sinne der Re-X-Strategien (ReUse, ReMan, ReCycle) der Kreislaufwirtschaft darstellt.

Die Potenziale der CE können allerdings nur mit einer transparenten Datennutzung und Methode der Berichterstattung gehoben werden, weshalb im Forschungsvorhaben die rechtskonforme Nutzung der Datenbestände für den CO₂-Produktpass über ein Data Governance-Modell sichergestellt wird.

Als Grundlage wird im Forschungsvorhaben zunächst ein Datenmodell für sektorübergreifende, digitale CO₂-Produktpässe entwickelt. Mit Hilfe des digitalen CO₂-Produktpasses wird im Forschungsvorhaben ein Assistenzsystem zur Sensibilisierung von Mitarbeitenden mittels Shop Floor Management umgesetzt. Weiterhin werden Geschäftsmodellarchitekturen für die Nutzung von Nachhaltigkeitsdaten und der CE entwickelt. Durch die Transparenzschaffung des CO₂-Produktpasses adressiert das Forschungsvorhaben die Messung der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit mit digitalen Technologien. Die darauf aufbauenden Optimierungen sowohl unternehmensintern als auch für die CE adressieren die Nachhaltigkeit durch digitale Technologien (SGD 12 und SGD 13).

Die Umsetzung eines digitalen CO₂-Fußabdrucks über die gesamte Lieferkette bietet das Potenzial des Alleinstellungsmerkmals „*Klimaneutralität*“ und damit wirkt der in CliCE-DiPP entwickelte digitale CO₂-Produktpass als Differenzierer für deutsche und europäische Plattformen für Datenräume (SGD 8) im weltweiten Vergleich.

Im Forschungsvorhaben CliCE-DiPP entstehen digitale Assistenzsysteme für die CE, für die Steuerung der energieeffizienten Gesamtanlageneffektivität und für das energie- und ressourceneffiziente Shop Floor Management. Weiterhin entstehen Demonstratoren für die AAS-basierte Ermittlung des PCF aus Maschinendaten, die Traceability-gestützte Ermittlung des PCF als auch für die Process Mining-basierte auftragspezifische Zuordnung von Energiebedarfen. Diese Assistenzsysteme und Demonstratoren werden in den Lernfabriken der wissenschaftlichen Institute zunächst pilotiert und validiert und anschließend bei den Anwendungsunternehmen in reale Anwendungsszenarien überführt. Mit den im CliCE-DiPP entwickelten Lösungen kann ein Treibhausgasemissions-Reduktionspotenzial von 40 % durch CE umgesetzt werden [4]. Durch das branchenübergreifende Konsortium kann der Anwendungsfall der Kreislaufwirtschaft bei Verbrauchszählern (z.B. Wasseruhren) zudem auch auf die Baubranche sowie den Werkzeug- und Anlagenbau übertragen werden, wodurch die im Vorhaben entwickelten Ergebnisse einen Technologiereifegrad von mindestens Stufe 7 anstreben. Hierfür sind offene Standards und Open-Source-Lösungen (wie z. B. OPC UA oder die AAS) unumgänglich, weswegen das Vorhaben auf diese setzt. Das Konzept der AAS der Plattform Industrie 4.0 bietet eine einheitliche Modellierungssprache für die Gestaltung virtueller Repräsentationen von physischen Komponenten und sorgt für einen systematischen Austausch von Informationen im Produktlebenszyklus über Unternehmensgrenzen hinweg [5]. Für die Interoperabilität setzt

das Konsortium auf standardisierte Kommunikationsschnittstellen wie IO-Link, OPC UA, MQTT- und REST-APIs. Für die Beschreibung von physikalischen Assets werden spezifizierte Datenmodelle der OPC UA Companion Specifications, wie z. B. OPC UA for Machinery (hier: UA4MT für Werkzeugmaschinen) genutzt. Darüber hinaus wird auf Basis der bestehenden UA4MT-Spezifikation ein offenes Datenmodell für den PCF entwickelt. Hierdurch wird die Übertragung der Ergebnisse in verschiedene Branchen des Konsortiums (Bau, Verbrauchszähler und Anlagenkomponenten) erleichtert und gewährleistet eine breite Verwendbarkeit der Ergebnisse.

2. Erforderlichkeit des Vorhabens

Sowohl in der Theorie als auch in der Praxis finden sich bereits diverse Arbeiten und Projekte zur CO₂-Bilanzierung, der CE sowie der Energieverbraucherfassung und -optimierung. Oftmals werden die Themenstellungen jedoch isoliert voneinander betrachtet, bzw. beziehen nicht alle Lebenszyklusabschnitte mit ein, was insbesondere bei der zirkulären Betrachtung von Wertschöpfungsketten gilt. Im Sinne einer globalen CO₂-Reduzierung ist jedoch eine ganzheitliche Betrachtung über Unternehmensgrenzen hinweg erforderlich, um bspw. Carbon Leakage oder Doppelbilanzierungen zu verhindern [6, 7]. Aktuelle Ansätze fokussieren sich allerdings auf die Optimierung von Maschinenparametern [8, 9], die Reihenfolgenbildung [10-12], beziehen CO₂ als Teil der Zielfunktion von linearen Modellen zur Netzwerkoptimierung mit ein [13] oder betrachten nur Teilbereiche Lieferketten [14]. Neuere Ansätze und Initiativen wie Catena-X [15] in der Automobilindustrie, die Together for Sustainability-Initiative [16] in der chemischen Industrie oder die Estaimium Association [17] und die darauf aufbauende kommerzielle Software SiGreen [18] fokussieren sich vor allem auf die Standardisierung der Berechnung der CO₂-Daten sowie der Infrastruktur und Kommunikationsformate dieser Daten [19]. Weitere Ansätze wie des ZVEI oder das Projekt sdmanux, verwenden im Kontext der CO₂-Bilanzierung, ähnlich wie die Together for Sustainability-Initiative, Produktpässe, um CO₂-Daten über den Lebenszyklus zusammenzutragen. Dabei kommt insbesondere das Konzept der Verwaltungsschale zum Einsatz, um den Informationsaustausch zu vereinfachen [20, 21]. Neben der reinen Erfassung von CO₂-Daten im Rahmen von Produktpässen befähigen diese vor allem auch die Kreislaufwirtschaft. So entwickeln [22] im Rahmen des Projekts ReCircE einen verwaltungsschalenbasierten Produktpass für den gesamten Produktlebenszyklus, um mit den enthaltenen Informationen und maschinellem Lernen die Sortierung und das Recycling von elektronischen Geräten zu vereinfachen. Eine Verknüpfung zwischen Produktpass, CO₂-Bilanzierung und Kreislaufwirtschaft, bzw. der Steuerung und Planung der Kreislaufwirtschaft auf Basis des Produktpasses und der enthaltenen CO₂-Daten, wie es in CliCE-DiPP angestrebt wird, wurde so bislang jedoch nicht untersucht. Einen standardisierten und etablierten Ansatz eines Produktpasses gibt es bislang nicht [23]. CliCE-DiPP erweitert, kombiniert die bisherigen Arbeiten und entwickelt diese weiter (SGD 9) und ermöglicht somit eine ganzheitliche Betrachtung von Nachhaltigkeit und Treibhausgasneutralität unabhängig von Unternehmensbranche und -größe. Indem die Funktionalität in der praktischen Anwendung für drei unterschiedliche Produktgruppen getestet und optimiert wird, kann nicht nur die praktische Anwendung einer Verwaltungsschale erprobt, sondern auch eine praktikable Ausgestaltung eines Produktpasses präsentiert werden, die als Orientierung für Politik und Wirtschaft dienen kann.

Hinsichtlich der ökonomischen Tragfähigkeit der Lösung werden Unternehmen aus dem produzierenden Gewerbe in Zukunft dazu verpflichtet sein, PCF-Informationen entlang der Lieferkette weiterzugeben [24] (SGD 8). Die im Projekt entwickelte Lösung unterstützt Unternehmen unmittelbar dabei, diesen Verpflichtungen nachzukommen, weshalb eine breite Nachfrage zu erwarten ist. Darüber hinaus wird die transparente Ausweisung des PCF vermehrt zum Kaufargument sowohl für Hersteller als auch für Endkunden [19, 25]. Neben der transparenten Ermittlung und Kommunikation des PCF tragen die im Projekt entwickelten Lösungen sowohl unternehmensintern (Shop Floor Management und PCF-Monitoring) als auch entlang der Lieferkette (Steuerung und Entscheidungsunterstützung für die CE) durch ressourceneffiziente Material(rück)flüsse zur wirksamen Reduktion des PCF bei und tragen somit unmittelbar zur Wettbewerbsfähigkeit von Anwenderunternehmen bei.

Darüber hinaus ist die ökonomische Tragfähigkeit des CO₂-Produktpasses als zentraler Bestandteil im Projekt integriert. Im Rahmen des Teilprojektes (TP) „Geschäftsmodellentwicklung für Nachhaltigkeitsdaten“ wird der Mehrwert der entwickelten Ansätze für alle beteiligten Stakeholder analysiert, sodass neue Geschäftsmodelle und Verwertungsperspektiven über die klassische Vermarktung der Softwarelösungen hinaus entstehen.

Im Projekt wird ein sektorübergreifendes und entlang der Lieferkette durchgängiges Softwareökosystem entwickelt, das mittels offener Schnittstellen und standardisierter Datenstrukturen eine breite Masse von Anwenderunternehmen erreichen soll. Durch die branchenübergreifende Auswahl von Anwendungspartnern im Konsortium, die entlang der Lieferkette verschiedene Rollen einnehmen, wird die Übertragbarkeit der Lösung auf weitere Industriezweige und Branchen sichergestellt. Die Überführung der entwickelten Lösung in Industriestandards wird durch die Zusammenarbeit mit entsprechenden Standardisierungsgremien und Branchenverbänden angestrebt. Die entwickelte Lösung wirkt dabei vor allem angebotsorientiert und ermöglicht die Einsparung von CO₂-Emissionen während des Produktionsprozesses. Durch die Entwicklung von Geschäftsmodellen der Kreislaufwirtschaft ist jedoch eine lebenszyklusübergreifende Betrachtung sichergestellt, die sich über die reine Produktherstellung hinaus fokussiert.

Im Forschungsvorhaben CliCE-DiPP entstehen verschiedene Demonstratoren und digitale Assistenzsysteme. Diese werden in den Lernfabriken der wissenschaftlichen Institute zunächst pilotiert und validiert und anschließend bei den Anwendungsunternehmen in reale Anwendungsszenarien überführt.

Für das Projekt kann das Konsortium auf eine Vielzahl von Vorarbeiten in den Bereichen Traceability im Produktionsverbund, Energie- und Klimaneutralität, GAIA-X & Datenplattformen, effiziente Produktion mittels Digitalisierung sowie Geschäftsmodellentwicklung zurückgreifen (s. folgende Tabelle).

Cluster	Forschungsvorhaben je Partner
Traceability im Produktionsverbund	<ul style="list-style-type: none"> • EuProGigant – Entwicklung standortübergreifendes Produktionsökosystem (PTW) • champl4.0ns – Nutzung von Daten in der Holzindustrie (wbk) • PoTrace – Potentialbewertung der Traceability für zirkuläre Fertigungsprozesse (wbk)
Energie- & Klimaneutralität	<ul style="list-style-type: none"> • ArePron – Ermittlung des Ressourcenverbrauchs in der Massenproduktion (PTW) • DiNaPro – Live-Monitoring von CO₂-Emissionen mittels Traceability-Daten (PTW) • Endi-QM – Energie- und Ressourceneffizienz durch in-Prozess Quality Monitoring (PTW)

GAIA-X & Daten-plattform	<ul style="list-style-type: none"> • DIONE-X – Ermittlung Potentiale von GAIA-X in der Zerspanung (PTW) • FLEX4RES – Rekonfiguration von Produktionsnetzwerken mittels AAS (PTW) • BaSys4ServiceNet – Durchgängige Vernetzung des Produktionssystems mit Partnern (wbk) • KLIPS – Informationsplattform zur Bekämpfung von städtischen Hitzeinseln (Software AG) • iECO – Digitaler Zwilling für den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes (Software AG) • sdmanux – Digitalisierung der Produktion mittels GAIA-X zur nachhaltigen Produktion (wbk)
Effiziente Produktion mittels Digitalisierung	<ul style="list-style-type: none"> • PPM – Nutzung von Data Analytics im SFM zur Prognose von KPI's (PTW) • ShopfloorPulse – Digitalisierung des Shop Floor Managements (wbk) • SDM4FZI – Effiziente Nutzung von Produktionsanlagen mittels Services und AAS (wbk) • ZDMP – Ermittlung von Normabweichungen in der Produktion mittels KI (Software AG)
Geschäftsmodellentwicklung & Kreislaufwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> • ESCOM – Digitalen datenbasierten Geschäftsmodellen mit Komponentenherstellern (PTW) • DigiPrime - Digital Platform for CE in Cross-sectorial Sustainable Value Networks (wbk) • ReKoNet - Datenbasierte Regelung kollaborativer Wertschöpfungsnetzwerke (wbk, Festo) • RETHINK – Remanufacturing für die industrielle Kreislaufwirtschaft in (Lorenz) • ZirkulEA - Kreislauffähigkeit durch intelligente Demontage und Nachverfolgung

3. Möglichkeiten zur breiten Nutzung, Verwertung der Ergebnisse

Die im Projekt gewonnenen Ergebnisse werden durch die Projektpartner auf vielfältige Weise verwertet. Die folgende Tabelle gibt für das Konsortium eine Übersicht über die Ergebnisverwertung während der Projektlaufzeit sowie kurz- und mittelfristig nach Projektende.

Ergebnisverwertung

Während der Projektlaufzeit	Kurzfristig nach Projektende	Mittelfristig nach Projektende
Einbezug von Netzwerken, Öffentliche Diskussionen, Messeauftritte, projektbezogene Homepage, Soziale Medien (LinkedIn), Integration der Projektergebnisse in existierende Kompetenzzentren zur KI (KompaKI, ProKI, -PTW und KARL- wbk) und dem Mittelstand-Digital Zentrum Darmstadt (PTW)		
Dissertationen und studentische Arbeiten an den Forschungsinstituten PTW und wbk		Möglichkeit für Spin-Offs/Start-Ups der wissenschaftlichen Institute
Transfer in die Lehre und Ausbildung über Vorlesungen und neue Schulungsformate an den Instituten PTW sowie wbk und deren Lernfabriken		
Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und nationalen als auch internationalen Konferenzen (z.B. CIRP LCE, CIRP CMS)		
Implementierung des digitalen CO ₂ -Produktpasses in den beteiligten Unternehmen und deren Wertschöpfungssystemen (Integration in Produktportfolio)	Verbreitung und Transfer auf brancheninterne Unternehmen über die beteiligten Verbände und Netzwerke	
Gewinnung von Ansätzen & Erkenntnissen für die Weiterentwicklung von „Cumulocity-IoT“ und „ARIS Process Mining“.		
Umsetzung des CE-Gedenken in der Baubranche, Beteiligung an Verbandstagungen des Stukateurverbands zur Information über die Potentiale der CE in der Baubranche.		
Entwicklung von Services zur Unterstützung von Festo-Kunden bei der Auswertung der Ressourcendaten von Anlagenkomponenten.		

4. Beschreibung des Lösungsweges und der Arbeitspakete

Das Forschungsvorhaben teilt sich auf in vier Teilprojekte, welche zusammen eine zirkuläre Produktionswirtschaft in den Branchen Verbrauchsmessgeräte, Anlagenkomponenten und Baubranche durch die Entwicklung eines digitalen CO₂-Produktpasses ermöglicht. Hierzu kann bei der Entwicklung des digitalen CO₂-Produktpasses auf Vorarbeiten der Projektpartner zurückgegriffen und mit Hilfe der Software AG eine

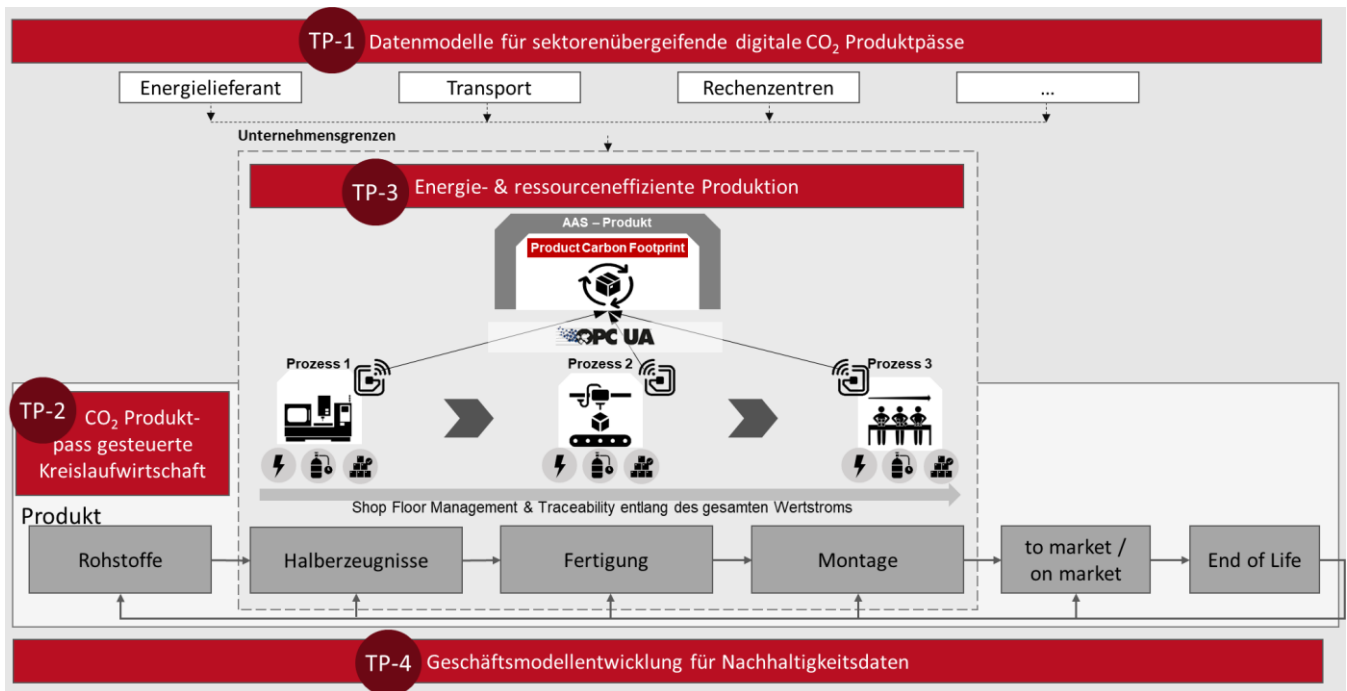


Abbildung: Projektübersicht

Plattform für den Datenaustausch zwischen den Unternehmen entlang einer Wertschöpfungskette geschaffen werden. Neben dem digitalen Produktpasses werden auch die Prozesse mittels Sensorik ausgestattet, um Prozesszeiten sowie den Energie- und Ressourcenverbrauch der Anlagen zu ermitteln.

Um die Datenverfügbarkeit über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg zu gewährleisten, werden gemeinsam mit dem Forschungspartnern Geschäftsmodelle entwickelt, welche den Austausch von Energie- und Ressourcendaten fördern.

Die damit geschaffene Transparenz über Energie und Ressourcen kann anschließend genutzt werden, um die Wertschöpfungssysteme effizient und möglichst treibhausgasneutral zu gestalten. Hierzu wird auf bestehende Elemente wie das Shop Floor Management zurückgegriffen. Dieses stellt das meistgenutzte Führungssystem in produzierenden Unternehmen dar und fördert die Selbstorganisation von Produktionseinheiten und kann damit auch genutzt werden, um die Mitarbeitenden für einen sparsamen Einsatz von Ressourcen in der täglichen Arbeit zu sensibilisieren. Wesentlicher Treiber bei den Energie- und Ressourcenbilanzen von Unternehmen sind jedoch vorrangig die Produktionsanlagen. Hierzu werden in TP 1 und 2 die Produktionsanlagen und deren Peripherie mittels Sensoren ausgestattet, um zunächst die erforderliche Transparenz zu schaffen und darauf aufbauend die Produktionsanlagen zu optimieren, um diese zukünftig energieeffizienter und ressourcenschonender betreiben zu können.

Die vier TPs unterteilen sich dabei in ein vorbereitendes Teilprojekt, in welchem der digitale Produktpass entwickelt wird, mit dessen Hilfe, Energie-, Ressourcen-, Prozess- und Produktdaten über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg ausgetauscht werden können. Dieses TP ist wesentliche Voraussetzung für die TP 2 und TP 3, in welchen Lösungen für eine klimaneutrale CE (TP 2) und eine Produktion (TP 3) entwickelt werden. Parallel hierzu werden in TP 4 Geschäftsmodelle entwickelt, wodurch die Kooperation zum Datenaustausch innerhalb der Wertschöpfungsketten und zwischen Kunden und Lieferanten gefördert werden soll. Zur Erreichung der TPs verteilen sich die Arbeitsinhalte auf unterschiedliche Arbeitspakete, in welchen konkrete Ergebnisse durch die beteiligten Partner erzielt werden und im Rahmen der

Konsortialtreffen einem Meilenstein-Review (siehe Tabelle Meilensteine) unterzogen werden, um kontinuierlich den Projektfortschritt zu überwachen und falls notwendig Korrekturmaßnahmen zu ergreifen. Die für das Forschungsvorhaben durchgeführte SWOT-Analyse ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

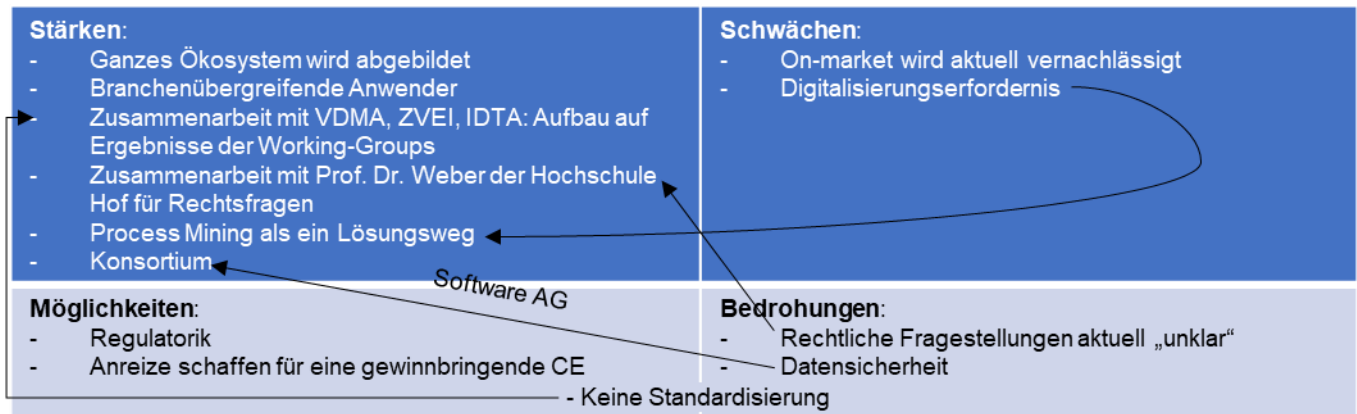


Abbildung: SWOT-Analyse

Meilensteine (M)

M	Monat	Beschreibung
M1.1-1	9	Erster AAS-Prototyp zur Berechnung des PCF aus Maschinendaten entwickelt
M1.1-2	21	AAS-Prototyp zur Berechnung des PCF einer Werkzeugmaschine in der ETA-Fabrik implementiert
M1.2-1	18	Umgesetzte Traceability- gestützte Ermittlung des PCF in der FlowFactory
M1.3-1	6	Austausch und Visualisierungsformat für PCF im Produktionsnetzwerk
M1.3-2	12	Verrechnungslogik für schwer zuordenbare Emissionen in Produktionsnetzwerken
M1.4-1	18	Konzept zur Integration der Data Governance in Standards der Nachhaltigkeitsberichterstattung
M1.4-2	36	Data Governance Modell
M2.1-1	24	Prototyp Assistenzsystem für die Steuerung der CE anhand von CO ₂ -Emissionen, Produktions- und Logistikdaten
M3.1-1	19	AAS-Prototyp zur Übertragung auf den Wertstrom der FlowFactory erweitert und angepasst
M3.1-2	30	AAS-Prototyp zur Übertragung auf den Wertstrom der Anwendungspartner erweitert
M3.2-1	12	Identifikation charakteristischer Verläufe im Lastgang von Werkzeugmaschinen
M3.2-2	20	Umsetzung eines automatischen Vorgehens zur Identifikation konkreter Produktionsvorgänge im Lastgang durch Data Mining
M3.3-1	19	Steuerungsalgorithmus für energieeffiziente Gesamtanlageneffektivität
M3.3-2	30	Protoypenhafte Implementierung des KI-Steuerungssystem
M3.4-1	18	Prototyp Energie- und ressourceneffizientes Shop Floor Management System
M3.4-2	36	Umsetzung/Evaluierung bei den Projektpartnern
M4.1-1	15	Prototypen für Geschäftsmodelle zur Nutzung von Nachhaltigkeitsdaten entwickelt
M4.1-2	27	Geschäftsmodelle bezüglich ökolog. und ökonom. Nachhaltigkeit evaluiert und optimiert

Gliederung der Projektaktivitäten in Arbeitspakete, Quantifizierung des Aufwands

TP-1: Datenmodell für sektorenübergreifende digitale CO ₂ -Produktpässe (Leitung: PTW)		
AP-1.1: Product Carbon Footprint aus OPC UA-Maschinendaten in der Verwaltungsschale		
AP-Leitung: PTW	Beteiligt: Software AG, Festo, Protektor	PM: 55
Ziel: Datenmodell basierend auf OPC UA-Maschinendaten für die Berechnung des PCF in der AAS		
Methoden / Instrumente / Vorgehen: Workshops, Entwicklung von Softwareprototypen		
Ergebnisse: Entwickeltes PCF-Datenmodell als Softwareprototyp zur Übertragung auf weitere Maschinen und Produkte. Auswahl von PCF-Berechnungsvorschrift.		
AP-1.2: Traceability-gestützte Ermittlung des Product Carbon Footprints entlang eines Wertstroms		
AP-Leitung: PTW	Beteiligt: Software AG, wbk, Festo, Protektor	PM: 47

Ziel: Konzeptionierung und Umsetzung eines für wertstromdurchgängigen Traceability-Systems zur bedarfsgerechten An- und Abmeldung einzelner Bauteile an allen relevanten Prozessschritten in der FlowFactory des PTW

Methoden / Instrumente / Vorgehen: Datenintegration

Ergebnisse: Datenmodell für die bauteilspezifische und Traceability-gestützte Berechnung des PCF; Umsetzung des Traceability-Systems am Beispiel der FlowFactory des PTW

AP-1.3: Sektorübergreifender Product Carbon Footprint im digitalen Produktpass des Produktionsnetzwerks

AP-Leitung: wbk Beteiligt: Software AG, Lorenz, Brunata, Festo, Protektor, Entega PM: 45

Ziel: Abbildung des Produktionsnetzwerks inkl. Zulieferer und Kunden mit allen direkten und indirekten Nachhaltigkeits- (z.B. CO₂) und Energiedaten sowie einheitliches Daten-Austauschformat über die AAS.

Methoden / Instrumente / Vorgehen: AAS; Datenaustauschformate; Verrechnungslogik/-preise für CO₂ und Energie; Entwicklung von Prototypen

Ergebnisse: Prototyp eines CO₂-Produktpasses, der Verknüpfung von Strommix- und CO₂-Daten, Produktionsprozessen, Zulieferern und nicht eindeutig zuordenbaren Emissionen und Verbräuchen im Netzwerk abbilden und verrechnen kann, zur Ermittlung des PCF

AP-1.4: Data Governance (Datenrecht, Datenqualität) und Transparenz der Datennutzung

AP-Leitung: Hochschule Hof PM: 36

Ziel: Rechtskonforme Nutzung der Datenbestände für den CO₂ Produktpass über ein Data Governance Modell zu sichern

Methoden / Instrumente / Vorgehen: Data Governance Modell

Ergebnisse: Weiterentwicklung des Data Governance Modells; Konzept zur Integration der Data Governance in die Standards der Nachhaltigkeitsberichterstattung

TP2: CO₂-Produktpass gesteuerte Kreislaufwirtschaft (Leitung: wbk)

AP-2.1: Steuerung/ Assistenz für die Kreislaufwirtschaft

AP-Leitung: wbk Beteiligt: Software AG, Lorenz, Brunata, Festo, Protektor PM: 86

Ziel: Steuerung des Produktionsnetzwerks einer CE anhand der Produkt- und CO₂-, Logistikdaten, die in den Produktpässen enthalten sind, inklusiver einer Zuordnung der CO₂-Emissionen im Netzwerk und auf die Produkte vor dem Hintergrund der zirkulären Produktflüsse.

Methoden / Instrumente / Vorgehen: Ablaufsimulation; KPI-Board; Entwicklung von Prototypen

Ergebnisse/Outcome: Prototyp Assistenzsystem für die Steuerung der CE anhand von CO₂-Emissionen, Produktions- und Logistikdaten

TP-3: Energie- und Ressourceneffiziente Produktion (Leitung: Software AG)

AP-3.1: Befähigung der Produktionsressourcen zum Tracking von CO₂-Daten

AP-Leitung: PTW Beteiligt: Software AG, wbk, Lorenz, Festo, Protektor PM: 79

Ziel: Übertragung der PCF-Datenmodell-Prototypen auf eine Produktionskette

Methoden / Instrumente / Vorgehen: Workshops, Übertragung, Entwicklung von Prototypen

Ergebnisse: Lauffähiges Tracking von CO₂-Daten und Berechnung des PCF im Produktdatenmodell in der FlowFactory und bei Anwendungspartnern

AP-3.2: Sensorreduzierte Zuordnung von Maschinen und Auftragsdaten durch Data Mining am Lastgang von Werkzeugmaschinen

AP-Leitung: Software AG Beteiligt: PTW, wbk, Festo, Protektor

PM: 57

Ziel: Entwicklung und Erprobung eines Ansatzes zur auftragsspezifischen Zuordnung von Energiebedarfen in der spanenden Fertigung.

Methoden / Instrumente / Vorgehen: Experimentelle Datenerhebung, Data Mining, Validierung

Ergebnisse: Validierter Data Mining Ansatz zur plattformunabhängigen Informationsgewinnung aus dem realen Lastgang spanender Werkzeugmaschinen, der zur aufwandsreduzierten Allokation von Energiebedarfen an konkrete Fertigungsaufträge beiträgt.

AP-3.3: Betriebsoptimierung von Produktionsmaschinen auf Basis von CO₂-Daten

AP-Leitung: Software AG Beteiligt: wbk, PTW, Lorenz, Festo, Protektor

PM: 63

Ziel: Energieeffiziente Nutzung der Produktionsanlagen unter Berücksichtigung einer hohen Gesamtanlageneffektivität (OEE)

Methoden / Instrumente / Vorgehen: Data Analytics und Data Mining, Entwicklung von Prototypen

Ergebnisse: Kriterienkatalog und angepasste Berechnungslogik der Gesamtanlageneffektivität unter Berücksichtigung der Energie- und Ressourceneffizienz; Reduzierter Energie- und Ressourcenverbrauch durch optimierte Anlagenszyklen sowie verlangsamter Geschwindigkeit der Anlagen und Maschinen unter gleichbleibender Produktivität; Protoypenhafte Implementierung des KI-Steuerungssystem

AP-3.4: Integration von Nachhaltigkeitsdaten im Shop Floor Management zur Sensibilisierung von Mitarbeitenden

AP-Leitung: PTW

Beteiligt: wbk, Lorenz, Festo, Protektor

PM: 47

Ziel: Sensibilisierung von Mitarbeitenden für die Realisierung einer energie- und ressourceneffizienten Produktion, durch die Aufbereitung und Visualisierung von Verbrauchsdaten wie z. B. Wasser, Druckluft, Energie, CO₂ etc.

Methoden / Instrumente / Vorgehen: Workshops, Data Analytics, Entwicklung von Demonstratoren

Ergebnisse: Prototyp eines digitalen Assistenten zur Unterstützung von Mitarbeitenden bei Maßnahmen zur Umsetzung einer Energie- und ressourceneffizienten Produktion; Prototyp eines digitalen Assistenzsystems für die Steuerung von Material(rück)flüssen im globalen Produktionsverbund und die Ableitung von Handlungsempfehlungen für die energie- und ressourceneffiziente Gestaltung der Material(rück)flüsse

TP-4: Geschäftsmodellentwicklung für Nachhaltigkeitsdaten (Leitung: PTW)

AP-Leitung: PTW

Beteiligt: Software AG, wbk, Lorenz, Festo, Protektor

PM: 55

Ziel: Bereitstellung von wirtschaftlich tragbaren Geschäftsmodellen für alle beteiligten Stakeholder. Dabei liegt der Fokus auf der Vereinigung von ökonomischen Interessen der Unternehmen und den ökologischen Interessen der Gesellschaft. Dies ist essenziell, um die ausgearbeiteten Anwendungsfälle nachhaltig in der unternehmerischen Praxis etablieren zu können.

Methoden / Instrumente / Vorgehen: Workshops & Interviews; Entwicklung von Prototypen

Ergebnisse: Geschäftsmodelle für die CE auf Basis des digitalen CO₂-Produktpasses; Nachhaltigkeitsprüfung der Geschäftsmodelle: Analyse der Kosten & Nutzen bei allen beteiligten Stakeholdern.

Zeitplanung

	1. Jahr				2. Jahr				3. Jahr				PM
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	ges.
TP 1													147
AP 1.1			M1.1-1				M1.1-2						55
AP 1.2						M1.2.1							47
AP 1.3		M1.3-1		M1.3-2									45
AP 1.4						M1.4-1						M1.4-2	36
TP 2													86
AP 2.1						M2.1-2							86
TP 3													246
AP 3.1							M3.1-1				M3.1-2		79
AP 3.2				M3.2-1			M3.2-2						57
AP 3.3							M3.3-1			M3.3-2			63
AP 3.4						M3.4-1						M3.4-2	47
TP 4													55
AP 4.1						M4.1-1			M4.1-2				55

Kostenabschätzung

Nr.	Projekt-partner	Typ	FQ	PM	Kosten (in €)			
					Personalkosten	Sonstige Kosten*	Gesamt-kosten	Zuwendung
1	Software AG	GU	40%	108	1.890.000,00 €	9.000,00 €	1.899.000,00 €	759.600,00 €
2	PTW – TUD	HS	100%	198	1.821.351,96 €	1.138.747,26 €	2.960.099,22 €	2.960.099,22 €
3	wbk-KIT	HS	100%	72	670.000,00 €	125.000,00 €	795.000,00 €	795.000,00 €
4	Lorenz	GU	50%	42	403.200,00 €	225.000,00 €	628.200,00 €	314.100,00 €
5	Brunata	GU	40%	36	385.200,00 €	75.000,00 €	460.200,00 €	184.080,00 €
6	Festo	GU	40%	36	486.000,00 €	25.000,00 €	511.000,00 €	204.400,00 €
7	Protektor	GU	40%	42	504.000,00 €	50.000,00 €	554.000,00 €	221.600,00 €
Summen			70%	534	6.159.751,96 €	1.647.747,26 €	7.807.499,22 €	5.438.879,22 €

5. Anforderungen an das Konsortium

Das Konsortium sowie die Rollenverteilung für das Forschungsvorhaben sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Bei den Unternehmen handelt es sich um KMUs bzw. GUs, bei welchen die Bonität als gewährleistet betrachtet werden kann. Einzig unter den unterbeauftragten Unternehmen gibt es ein Start-Up. Sollte dieses während der Projektlaufzeit aus finanziellen Gründen ausfallen, so ist der Projekterfolg nicht beeinträchtigt, da auf andere Unternehmen (Anbieter von Shop Floor-Systemen und Software) ausgewichen werden kann.

Die Beschreibung der Partner sowie deren Rolle im Forschungsvorhaben sowie die Letter of Intends der assoziierten Partner sind im Anhang zu finden.

Geförderte Partner		Assoziierte Partner		Unteraufträge	
Partner	Rolle	Partner	Rolle	Partner	Rolle
Software AG*	Software	Werner Schmid	Anwender	Entega#	Energieförderer
PTW	Universität	Diehl Metall	Anwender	Hochschule Hof#	Rechtsfragen
wbk	Universität	SAP	ERP-System	SFM Systems#	Shop Floor Management
Lorenz	Anwender	VDMA	Verband	Software Factory°	MES-Anbieter
Brunata	Anwender	ZVEI	Verband	Forcam#	MES-Anbieter
Festo	Anwender	IDTA	Verband	SensING+	Sensorik
Protektor	Anwender	Siemens	CO2-Berechnung		
		Bosch Rexroth	Steuerungshersteller		
		Herlanco	CO2 Beratung		

*Konsortialführer

#Unterauftrag PTW

°Unterauftrag Lorenz

+Unterauftrag wbk

Tabelle: Rollenverteilung im Konsortium

Literatur

- [1] Bundesregierung Deutschland: Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist. KSG. 18.08.2021
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Zahlen und Fakten: Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung, Berlin, Germany, 2021
- [3] STAUFEN AG: Green-Transformation. Im Maschinen und Anlagenbau (2022)
- [4] Laxmi, L.; De Wit, M.; von Daniels, C. et al.: The Circularity Gap Report, 2021
- [5] Plattform Industrie 4.0: Digitale Ökosysteme global gestalten. Leitbild 2030 für Industrie 4.0, Berlin, 2019
- [6] Ritz, R. A.: Carbon leakage under incomplete environmental regulation. An industry-level approach. Oxford: Oxford Institute for Energy Studies 2009
- [7] World Resources Institute: Estimating and Reporting the Comparative Emissions Impact of Products. Working Paper, 2019
- [8] Cuixia, Z.; Conghu, L. I.; Xi, Z.: Optimization control method for carbon footprint of machining process. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 92 (2017) 5-8, S. 1601–1607
- [9] Zhou, G.; Lu, Q.; Xiao, Z. et al.: Cutting parameter optimization for machining operations considering carbon emissions. Journal of Cleaner Production 208 (2019), S. 937–950
- [10] Fang, K.; Uhan, N.; Zhao, F. et al.: A new approach to scheduling in manufacturing for power consumption and carbon footprint reduction. Journal of Manufacturing Systems 30 (2011) 4, S. 234–240
- [11] Lin, W.; Yu, D. Y.; Zhang, C. et al.: A multi-objective teaching–learning-based optimization algorithm to scheduling in turning processes for minimizing makespan and carbon footprint. Journal of Cleaner Production 101 (2015), S. 337–347
- [12] Shrouf, F.; Ordieres-Meré, J.; García-Sánchez, A. et al.: Optimizing the production scheduling of a single machine to minimize total energy consumption costs. Journal of Cleaner Production 67 (2014), S. 197–207
- [13] Benjaafar, S.; Li, Y.; Daskin, M.: Carbon Footprint and the Management of Supply Chains: Insights From Simple Models. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 10 (2013) 1, S. 99–116
- [14] Schmied, M.; Knörr, W.: Carbon Footprint - Teilgutachten. Monitoring für den CO₂-Ausstoß in der Logistikkette, 2012
- [15] Heubach, H.: Die Vision von Catena-X. Internet: <https://catena-x.net/de/vision-ziele>. Zugriff am 07.10.2022
- [16] The Product Carbon Footprint Guideline for the Chemical Industry, 2022
- [17] Estainium Association: ESTAINIUM Association. Wir formen die nachhaltige Industrie der Zukunft. Internet: <https://www.estainium.eco/de/>. Zugriff am 07.10.2022
- [18] Siemens Deutschland: Dekarbonisierung beginnt mit Daten. Mit SiGREEN den CO₂-Fußabdruck Ihrer Produkte gezielt optimieren. Internet: <https://new.siemens.com/de/de/unternehmen/themenfelder/product-carbon-footprint.html>. Zugriff am 07.10.2022
- [19] Jaeger, F. A.; Saling, P.; Otte, N. et al.: Challenges and requirements of exchanging Product Carbon Footprint information in the supply chain. E3S Web of Conferences 349 (2022), S. 7005
- [20] ICM: GAIA-X4ICM – Infrastruktur für eine durchgängige Digitalisierung der Produktion auf Basis von Gaia-X. Internet: <https://www.icm.kit.edu/71.php?tab=%5B403%5D#tabpanel-403>
- [21] ZVEI-Show-Case PCF@Control Cabinet. Product Carbon Footprint Calculation of a Control Cabinet using the Asset Administration Shell, 2022

- [22] Plociennik, C.; Pourjafarian, M.; Nazeri, A. et al.: Towards a Digital Lifecycle Passport for the Circular Economy. *Procedia CIRP* 105 (2022), S. 122–127
- [23] BMUV: Digitaler Produktpass. Internet: <https://www.bmuv.de/faqs/umweltpolitische-digitalagenda-digitaler-produktpass>. Zugriff am 18.10.2022
- [24] Adisorn, T.; Tholen, L.; Götz, T.: Towards a Digital Product Passport Fit for Contributing to a Circular Economy. *Energies* 14 (2021) 8, S. 2289
- [25] Shekarian, E.; Marandi, A.; Majava, J.: Dual-channel remanufacturing closed-loop supply chains under carbon footprint and collection competition. *Sustainable Production and Consumption* 28 (2021) 3, S. 1050–1075

Anhang

A.1.DAS KONSORTIUM

Software AG:

Die Software AG ist das zweitgrößte Software-Unternehmen Deutschlands und erzielte 2021 einen Umsatz von 830 Mio. Euro. Sie ist in 70 Ländern der Welt aktiv und beschäftigt knapp 5.000 Mitarbeitende. Mit ihren Produkten ermöglicht es die Software AG ihren Kunden – unter ihnen die Hälfte der 500 größten Unternehmen der Welt – ihre Daten, Anwendungen oder Geräte zusammenzuführen und so ihre Produktivität zu erhöhen oder innovative Geschäftsmodelle umzusetzen. Dabei verfügt die Software mit „Cumulocity IoT“ über eine der weltweit führenden IoT-Plattformen sowie mit „ARIS Process Mining“ über eine der leistungsfähigsten Lösung für Process Mining.

Rolle der Software AG im Konsortium

Die Software AG erfüllt in *CliCE-DiPP* zwei zentrale Aufgaben. Zum einen wird sie auf Basis von „Cumulocity IoT“ die Datenquellen an den Digitalen CO2-Produktpass anbinden. Hierfür wird die Software AG gemeinsam mit den Anwendungspartnern die relevanten Datenquellen identifizieren und entsprechende Schnittstellen (weiter)entwickeln bzw. adaptieren. Zum anderen wird sie auf Basis von „ARIS Process Mining“ Möglichkeiten zur Einsparung von CO2 im Wertschöpfungsfluss identifizieren, indem sie in den unternehmensübergreifenden Prozessdaten Ineffizienzen bzw. Optimierungspotentiale aufspürt. Hierfür wird die Software aus den Prozessdaten den tatsächlichen Prozess modellieren, um durch den anschließenden Soll-Ist-Vergleich Verbesserungsmöglichkeiten ausfindig zu machen. Darüber hinaus wird sich die Software AG in die Entwicklung des Datenmodells des Digitalen CO2-Produktpass einbringen und die Konsortialführerschaft von *CliCE-DiPP* übernehmen.

PTW – TU Darmstadt:

Das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) ist mit 97 Mitarbeitenden eines der größten Institute der TU Darmstadt und eines der führenden produktionstechnischen Institute in Deutschland. Durch seine drei Lernfabriken (ETA, CiP, FlowFactory) und ein umfangreich ausgestattetes Versuchsfeld bietet das Institut eine einzigartige Forschungsumgebung mit starkem Fokus auf den Themen Digitalisierung sowie klimaneutrale Produktion. In zahlreichen vergangenen und laufenden Forschungsprojekten konnte das Institut zum Fortschritt u.a. in den Bereichen Traceability, Shop Floor-Management, Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle sowie Energie- und Ressourceneffizienz in der Produktion beitragen. Die somit aufgebaute Expertise bildet das notwendige Know-how für das Projekt *CliCE-DiPP*.

Rolle des PTW im Konsortium

Das PTW erfüllt als Forschungspartner verschiedene Aufgaben innerhalb des Projekts. Gemeinsam mit der Software AG wird ein Datenmodell basierend auf OPC UA-Maschinendaten für die Berechnung des Projektskizze „*CliCE-DiPP*“

Product Carbon Footprints in der Verwaltungsschale entwickelt. Zur Anreicherung des Datenmodells wird ein wertstromdurchgängiges Traceability-System zur bedarfsgerechten An- und Abmeldung einzelner Bauteile konzipiert. Weiterhin ist das PTW führend bei der Befähigung von Produktionsressourcen zum Tracking von CO₂-Daten aktiv, wodurch eine Übertragung des Datenmodells auf eine Produktionskette ermöglicht wird. Eine prototypische Umsetzung erfolgt schließlich in der neuesten institutseigenen Lernfabrik „Flow Factory“ und bei den Anwendungspartnern. Gemeinsam mit dem wbk und den Anwendungspartnern werden Ansätze zur Nutzung der gewonnenen Daten im Shop Floor Management produzierender Unternehmen entwickelt. Mit der Entwicklung eines entsprechenden Systems werden die Mitarbeitenden bei Maßnahmen zur Umsetzung einer klimaneutralen Produktion unterstützt. Schließlich setzt das PTW seine Expertise aus dem Bereich der Geschäftsmodellinnovation zur Entwicklung innovativer, incentivierender Nutzungsmodelle für Nachhaltigkeitsdaten ein. Hierzu werden neue Service-Ansätze entwickelt, die zugehörigen Geschäftsmodellarchitekturen abgeleitet und hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Tragbarkeit und ihres Nachhaltigkeitspotentials evaluiert.

wbk – KIT:

Das wbk – Institut für Produktionstechnik ist eines der deutschlandweit führenden Forschungseinrichtungen im Bereich Produktionstechnik und mit 115 Mitarbeitenden eines der größten Forschungseinrichtungen am Karlsruher Institut für Technologie. Mit einer Vielzahl von Vorarbeiten in den Bereichen der Ganzheitlichen Produktionsstrategien sowie der Produktionsplanung und -steuerung, den Forschungsschwerpunkten der nachhaltigen Produktion, Elektromobilität und Industrie 4.0 sowie Vorarbeiten im Bereich der Traceability bespielt das wbk eine Vielzahl der auch in CliCe-DiPP verankerten Themen. Neben den Forschungsaktivitäten betreibt das wbk die Lernfabrik Globale Produktion am KIT, welche als Demonstrations- und Lehrumgebung fungiert und damit für das Forschungsprojekt die Möglichkeit zur Pilotierung und Validierung entstehender Produkte dient und gleichzeitig zur Verwertung sowie Transfer der Forschungsergebnisse dient.

Rolle des wbk im Konsortium

Das wbk beteiligt sich an CliCe-DiPP mit den beiden Forschungsgruppen Globale Produktionsstrategien und Produktionssystemplanung, wonach sich der inhaltliche Schwerpunkt zur Mitarbeit auf die Teilprojekte 2 “CO₂-Produktpass gesteuerte Kreislaufwirtschaft” und 3 “Energie- und Ressourceneffiziente Produktion” ergibt. Im Rahmen des Teilprojektes 2 wird mit Festo sowie Lorenz, Brunata und SenseIng ein Assistenzsystem erarbeitet, welches bei der Planung und Steuerung von Material(rück)flüssen in der Circular Economy (CE) unterstützt. Hierzu werden die einzelnen Partner an die AAS angeschlossen sowie die Ressourcendaten mit Hilfe der Sensortechnologie von SenseIng, insbesondere auch für die Logistikprozesse in der CE erfasst. Diese Daten werden anschließend aufbereitet und in Form von Kennzahlen in Simulationen eingepflegt, um die Material(rück)flüsse zu simulieren, um hierdurch bei der Entscheidung von ReX-Strategien und der Steuerung der CE zu unterstützen. Im Teilprojekt 3 liegt der Fokus auf einer Zusammenarbeit mit dem PTW, um neue Kennzahlen zur Visualisierung der Ressourceneffizienz zu bestimmen und damit eine ökologische Erweiterung der Gesamtanlageneffektivität sicherzustellen. Hierzu müssen

die Produktionsanlagen bei den Partnern Protektor, Lorenz und Festo um Sensorik (Senselng) zur Erfassung der Energie- und Ressourcendaten erweitert werden. Mit Hilfe dieser Daten sollen anschließend Mitarbeitende für eine ressourceneffiziente Produktion sensibilisiert werden und insbesondere mit Hilfe der Simulation und Optimierung eine neue Steuerungslogik für Produktionsanlagen entwickelt werden, die eine nachhaltige (ökologisch und ökonomische) Betreibung dieser ermöglicht. Abschließend werden die entstehenden Demonstratoren in der Lernfabrik Globale Produktion pilotiert, implementiert und anschließend bei den Anwendern in der Praxis und der realen Produktion etabliert.

Lorenz:

Die Lorenz GmbH & Co. KG mit ihren 260 Mitarbeitenden ist ein nach ISO 9001 zertifizierter Spezialist für Durchflussmessung mit Fokus auf Wohnungs-, Haus- und Großwasserzähler. Dabei kombiniert die Lorenz GmbH & Co. KG seine Geräte und Kommunikationstechnik und ermöglicht so seinen Kunden den Schutz der wertvollen Ressource Wasser. Gleichzeitig zeichnet sich das mittelständische Familienunternehmen durch eine umweltschonende, flexible Produktion unter Verwendung digitaler Technologien und Ressourceneffizienz aus.

Rolle von Lorenz im Konsortium

Lorenz ist als Anwendungspartner vor allem an der Stärkung der bisherigen Aktivitäten im Bereich der Kreislaufwirtschaft und des Remanufacturings interessiert. Neben der Einbringung von Know-How aus den bisherigen Aktivitäten und dem BMBF Forschungsprojekt RETHINK unterstützt Lorenz insbesondere mit Anwendungsfällen und –daten. Neben den Aktivitäten im Bereich der Kreislaufwirtschaft ist vor allem auch die Entwicklung eines sektorenübergreifenden Produktpasses von besonderem Interesse, insbesondere damit Brunata Metrona und Diehl auch ein direkter Kunde und Lieferant Teil des Konsortiums, bzw. assoziiert sind. Hierbei steht neben einer Verbesserung des Datenaustausches und der Datenverfügbarkeit zur Förderung der bisherigen Kreislaufwirtschaftsaktivitäten auch die Möglichkeit in der gesamten Wertschöpfungskette Ressourcen einzusparen und darauf aufbauend neue produktpassgetriebene Geschäftsmodelle zu entwickeln im Fokus.

Brunata:

Die Brunata Metrona ist eine Gruppe mit Fokus auf Mess- und Energiedienstleistungen für die Immobilienwirtschaft. Durch die Erfassung des Energiebedarfs von Immobilien für Heizung und Warmwasser fördert Brunata Metrona energieeffizientes Handeln. Ermöglicht wird dies durch eine smarte Infrastruktur, welche die Grundlage für die Verarbeitung von Nutzungs-, Verbrauchs- und Energiedaten darstellt. Gleichzeitig unterstützt das Unternehmen mit seinen ca. 1800 Mitarbeitenden bei der Umsetzung regulatorischer Anforderungen durch datenbasierte Energiedienstleistungen und Nachhaltigkeitskonzepte.

Rolle von Brunata im Konsortium

Die Brunata Metrona Gruppe trägt zum Projekt *CliCE-DiPP* wie folgt bei: Durch das Know-How in den Bereichen Smart Metering und intelligente Messsysteme fördern sie die Erfassung von Verbrauchsdaten in Produktionsanlagen und somit in Produktionsunternehmen, wodurch Transparenz über das Einsparpotential bei Energie und Ressourcen ermöglicht wird. Darüber hinaus trägt ihr Know-How zur effizienten

Steuerung von Material(rück)flüssen innerhalb von Wertschöpfungsketten bei. So können neben CO₂ auch weitere Ressourcen für die Aufbereitung der mechanischen und elektrischen Komponenten und der damit verbundenen Logistik eingespart und hierdurch ein Konzept für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft von Verbrauchsmessanlagen mit deren Endkunden und Lieferanten, wovon mit Lorenz einer der Lieferanten direkt Teil des Konsortiums ist, aufgebaut werden.

Protektor:

Die PROTEKTORWERK Florenz Maisch GmbH & Co. KG produziert Bauprofile und weist dabei bei ca. 420 Mitarbeitenden einen Umsatz von etwa 150 Mio. € auf. Das Produktprogramm umfasst zahlreiche Putz- und Fassadenprofile sowie Produkte für den Trockenbau. Hinzu kommen umfangreiche Sortimente aus den Bereichen Kunststoff-Dachrinnen, Beton- und Estrichfugenprofile sowie Fliesenprofile. Die ressourceneffiziente Produktion spielt für PROTEKTOR eine sehr wichtige Rolle. Hierfür wurden wir beispielsweise im Rahmen der Initiative „100 Betriebe für Ressourceneffizienz“ durch das Land Baden-Württemberg als Exzellenzbeispiel ausgezeichnet wurden.

Rolle von Protektor im Konsortium

Wir stellen unsere Produktion im Rahmen von CliCE-DiPP als Entwicklungsumgebung zu Verfügung. Hierzu sollen unsere Produktionsanlagen mit entsprechender Sensorik ausgestattet werden, um mit Hilfe des zu entwickelnden digitalen CO₂-Produktpasses den Energie- und Ressourcenverbrauch für unsere Produktion zu ermitteln. Mit Hilfe dieser Daten untersuchen wir gemeinsam mit dem wbk die Potentiale der Betriebsoptimierung der Produktionsanlagen für eine energie- und ressourceneffiziente Produktion, wobei die Steuerung der Produktion weiterhin wirtschaftlich gestaltet sein muss. Ergänzend hierzu wird auch das bestehende Shop Floor Management um Nachhaltigkeitsdaten erweitert, um unsere Mitarbeitenden für das Thema einer Energie- und Ressourceneffizienten Produktion zu sensibilisieren und für einen guten Wissenstransfer zu sorgen, wovon wir uns eine höhere Materialausnutzung beim Produktionsanlauf sowie im Regelbetrieb versprechen.

Festo:

Die Festo SE & Co. KG ist einer der weltweit führenden Anbieter für Fabrik- und Prozessautomatisierungstechnik und beschäftigt konzernweit rund 20.700 Mitarbeitende, mit welchen ein Umsatz von 3,36 Mrd. € erwirtschaftet wird. Vor allem in den Bereichen Künstliche Intelligenz, Digital Engineering, insbesondere Digitaler Zwilling, und Biologisierung wird aktiv an zukunftsweisenden Themen geforscht, um die Produktionssysteme der Zukunft zu gestalten. Dabei verfolgt Festo seine Nachhaltigkeitsstrategie 2020+, welche sich an den nachhaltigen Entwicklungszielen der Vereinten Nationen orientiert und neben der bereits vorhandenen Zertifizierung nach ISO14001 eine Reduzierung der Scope1 und Scope 2 CO₂-Emissionen um 30% bis 2025 vorsieht.

Rolle von Festo im Konsortium

Für die Festo SE & Co. KG ist in CliCE-DiPP insbesondere interessant, wie sich am Ende des Lebenszyklus von Produkten der Kreislauf schließen lässt und wie dies durch digitale Zwillinge abgebildet und

unterstützt werden kann. Entsprechend wird Festo als Anwendungspartner insbesondere bei der Entwicklung des Steuerungskonzept einer Kreislaufwirtschaft anhand eines Digitalen Zwillings mit vorhandenem Know-How und Anwendungsfällen und –daten unterstützen. Des Weiteren dient der bereitgestellte Anwendungsfall als Grundlage um entsprechende zirkuläre und service-basierte Geschäftsmodelle zu entwickeln. Insbesondere im Kontext der angestrebten Nachhaltigkeitsziele und möglicher neuer Regulatorik steht jedoch auch die Entwicklung eines durchgängigen Produktpasses zur Berechnung des Product Carbon Footprints sowie eine entsprechende Visualisierung und Sensibilisierung der Mitarbeitenden im Vordergrund.

Hochschule Hof (Unterauftrag PTW)

Die Forschungsgruppe „**Recht in Nachhaltigkeit, Compliance und IT**“ am Institut für Informationssysteme (iisys) der Hochschule Hof hat in verschiedenen Projekten (sd-kama, SAUBER, KLIPS, REIF, iECO) ein Modell zur rechtlichen Data Governance entwickelt, das als Grundlage der Konzeption und des Nachweises der Rechtskonformität der Datennutzung und zur Transparenz der Einhaltung von Nachhaltigkeitsanforderungen dienen kann.

Rolle der Hochschule Hof im Konsortium

Die Anforderungen an die Nachhaltigkeitsberichterstattung können nur mit einer transparenten Datennutzung und Methoden sichergestellt werden. Andernfalls drohen Schadensersatzforderungen aus falschen Angaben und eine enormer Imageschaden. Modelle zur Data Governance als Steuerung der rechtskonformen Nutzung von Daten nach den Dimensionen Datennutzungsrechte, Datenqualität, Datenschutz, Datensicherheit, Wettbewerb und Nachhaltigkeit sowie ethische Nutzung können helfen, die Datennutzung in der Lieferkette rechtskonform zu gestalten und die gesetzlichen Vorgaben sowie Berichtsstandards in eine transparente Nachhaltigkeitsberichterstattung zu transformieren, um nachhaltiges Handeln zu stärken und Haftung zu vermeiden.

Ziele im Projekt sind die Rechtskonforme Nutzung der Datenbestände für den CO2 Produktpass über ein Data Governance Modell zu sichern, der Nachweis der Datenqualität und der Methoden zur Transparenz der Nachhaltigkeit der Lösung entwickelt, die Integration der Anforderungen an Datennutzung und Datenaustausch in die Lieferantenverträge zur Herstellung von Nachhaltigkeit und Transparenz im Wertschöpfungsnetzwerk angestrebt sowie die Sicherung der Transparenz der Datennutzung und der Kennzahlen für die Nachhaltigkeitsberichterstattung und Weiterentwicklung der Standards hierzu. Ergebnis des Unterauftrages ist die Weiterentwicklung des Data Governance Modells sowie ein Konzept zur Integration der Data Governance in die Standards der Nachhaltigkeitsberichterstattung.

ENTEGA AG (Unterauftrag PTW)

Die ENTEGA ist einer der größten kommunalen Regionalversorger Deutschlands und befindet sich mehrheitlich über die HEAG Holding AG im Besitz der Wissenschaftsstadt Darmstadt. Mit seinen rund 30 Toch-

tergesellschaften ist das Unternehmen in den Geschäftsfeldern Energieerzeugung, Energiehandel, Energievertrieb, Energienetze, öffentlich-rechtliche Betriebsführung und Shared Services aktiv. Das Unternehmen verfolgt eine konsequente Nachhaltigkeitsstrategie, für die es 2013 mit dem renommierten Deutschen Nachhaltigkeitspreis ausgezeichnet wurde. Seit 2015 ist die ENTEGA als Wegbereiter der Energiewende vom TÜV Süd zertifiziert.

Rolle der ENTEGA AG im Konsortium

Im Rahmen des Forschungsvorhabens steht insbesondere der Sektorübergreifende CO₂-Fußabdruck im Fokus. Zur Bestimmung des produktbezogenen CO₂-Fußabdruckes in Echtzeit sind ebenfalls diese Informationen über den Bezogenen Strommix erforderlich. Dafür muss zunächst analysiert werden welche Datenquellen für den CO₂ Ausstoß des deutschen Strommixes zur Verfügung stehen als auch deren Rahmenbedingungen (z.B. zeitliche Auflösung, Delay, etc.). Diese müssen anschließend über standardisierte Schnittstellen bereitgestellt werden, um den CO₂-Fußabdruck in der Verwaltungsschale bestimmen zu können.

SFM Systems (Unterauftrag PTW)

SFM Systems bietet mit ihrem digitalen Shop Floor Management produzierenden Unternehmen ein Software-System zur schnellen und effektiven Erkennung von Fehlern/ Abweichungen und Lösung von Problemen durch den Einsatz von Datenanalysen, systematischer Problemlösung und Machine Learning. Das Startup mit Sitz in Darmstadt ist neben der Automobilindustrie noch in verwandten Branchen wie Elektronikfertigung und Automatisierung tätig.

Rolle von SFM Systems im Konsortium

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden die Erkenntnisse zum Shop Floor Management durch die Firma SFM Systems umgesetzt. Es ist die Aufgabe von SFM Systems die CO₂-bezogenen Kennzahlen für die Mitarbeitenden zu visualisieren und den Prototyp einer digitalen Assistenten zur Unterstützung von Mitarbeitenden bei Maßnahmen zur Umsetzung einer Energie- und ressourceneffizienten Produktion umzusetzen.

FORCAM (Unterauftrag PTW)

FORCAM gehört zu den weltweit führenden Lösungsanbietern im Bereich Fertigungssteuerung und -optimierung. Bereits vor über 15 Jahren hat FORCAM das erste Manufacturing Execution System (MES) zur Marktreife gebracht und seitdem konsequent weiterentwickelt. Mit der Weiterentwicklung zu einer IIoT-Plattform können vielfältige Branchen von einer flexiblen Maschinenanbindung und Datenanalyse profitieren. FORCAM hat unter anderem in den Forschungsprojekten „Innovationsallianz Green Carbody Technologies“ sowie „DaTeProMes“ mit dem Thema „MES Energy Dashboard für energieoptimiertes Produk-

tionscontrolling“ Grundlagen und Lösungsbausteine für die Optimierung von Energie- und Ressourceneinsatz in der Produktion erarbeitet. Im Forschungsprojekt SmARPro wurde die Basis der OpenAPI spezifiziert und Basiskomponenten entwickelt.

Rolle von FORCAM im Konsortium

Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist es die Aufgabe von FORCAM die Prozesslernfabrik FLOW-FACTORY des PTW mit dem MES System Forcam Force IIOT auszustatten, sodass eine Verknüpfung der Traceability Daten des Produkts mit den Maschinendaten zur Erfassung des CO₂-Fußabdrucks erfolgen kann. Nur so kann schlussendlich ein digitaler Produktpass für das Produkt der FlowFactory erarbeitet werden.

SenseING GmbH (Unterauftrag wbk)

Die SenseING GmbH mit Sitz in Karlsruhe entwickelt individuelle Sensorlösungen für IoT Anwendungen in unterschiedlichen Branchen. Aufgrund ihres geringen Strombedarfs und dem drahtlosen Datenaustausch eignen sich die Technologien optimal für den Einsatz in mobilen Anwendungen. Die Hardware dient hierbei als Enabler und wird durch eine Softwareplattform ergänzt.

Rolle von SenseING im Konsortium

Im Rahmen des Vorhabens wird Sensortechnologie eingebracht und damit die Energie- und Ressourcendaten durch Tracking der Material(rück)flüsse in der Logistikkette einer Kreislaufwirtschaft ermittelt. Wir unterstützen zudem bei der Verarbeitung und Visualisierung dieser Daten in einem Entscheidungsunterstützungssystem. Dieses soll für die Steuerung der Material(rück)flüsse in der Kreislaufwirtschaft nutzbar sein und als Demonstrator in der Lernfabrik des wbk's eingesetzt werden, um Energie- und Ressourceneinsparungen in der Logistikkette aufzuzeigen.

Software Factory (Unterauftrag Lorenz Meters)

Die Software Factory entwickelt maßgeschneiderte, anforderungsgerechte und leistungsfähige Softwarelösungen und Produkte für Großunternehmen und den Mittelstand. Zu unseren Kunden zählen Unternehmen aus den Wirtschaftsbereichen Automotive, Maschinen- und Anlagenbau, weiteren Industriezweigen sowie öffentliche Institutionen. Eines unserer Kerngeschäfte ist die Unterstützung von Unternehmen bei der Digitalisierung.

Rolle von Software Factory im Konsortium

Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist es die Aufgabe der Software Factory das IoT-System von Lorenz Meters an die Anforderungen der AAS (Asset Administration Shell), welche im Projekt zum Austausch von Energie- und Ressourcendaten über die gesamte Wertschöpfungskette genutzt werden soll, anzupassen. Hierdurch kann anschließend der CO₂-Fußabdruck über die Gesamte Wertschöpfungskette von Wasserzählern erfolgen.

A.2.LETTER OF INTENT