Digitaler Produktpass des Leitungssatzes

Transformations-Hub LEITUNGSSATZ

PCF-Berechnung, AAS-Abbildung und Catena-X Integration

Dr. Alwin Hoffmann (XITASO GmbH), Markus Rentschler (ARENA2036 e.V.)

ARENA2036 XITASO

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Hintergrund & Motivation

Die **neue EU-Altfahrzeugverordnung** (Verordnung (EU) 2026/1738) wurde im Juli 2026 im Amtsblatt der EU veröffentlicht. Die Verordnung schreibt steigende Recyclingkunststoff-Anteile vor und macht den **Digitalen Produktpass (DPP) für Fahrzeuge** ab 2032 verpflichtend.

EU-Altfahrzeug-Verordnung (ELV)

- mind. 15 % Recyclingkunststoffe nach 6 Jahren
- steigend auf 25 % nach 10 Jahren
- 20 % aus Closed-Loop-Recycling
- Verpflichtender “Digitaler Kreislaufpass für Fahrzeuge” (Art. 13)

Digitaler Produktpass (DPP)

- Betrifft Engineering & Produktionsphase
- Materialzusammensetzung & Rezyklat-Anteile
- Ersatzteilkatalog
- PCF-Product Carbon Footprint (PCF)
- Genaue Demontageanweisungen

Erweiterte Herstellerverantwortung (EPR)

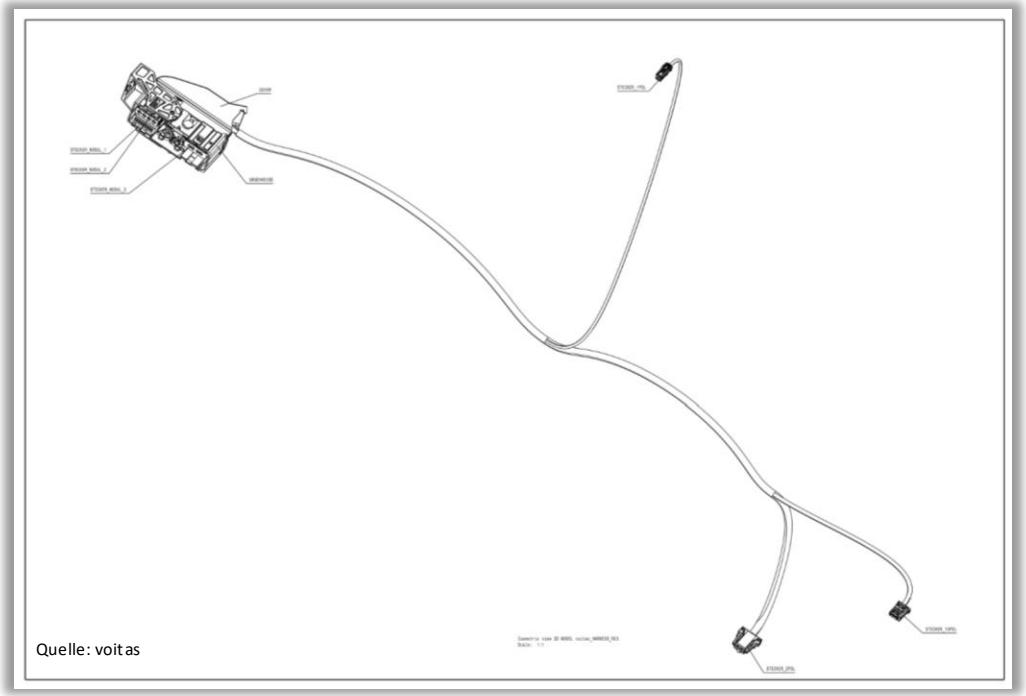
- OEMs sind finanziell + organisatorisch verantwortlich
- Für den gesamten Fahrzeuglebenszyklus
- Nettokosten für Sammlung und Behandlung
- Komplexe Mehrmaterialdesigns im Fokus

Product Carbon Footprint (PCF)

- Summe aller direkten & indirekten THG-Emissionen
- Über die Lebenszyklusphasen des Produkts
- Angabe in CO_2-Äquivalenten
- Normiert nach ISO 14067 / GHG-Protokoll

Anforderungen an den Digitalen Produktpass

Eindeutige Identifikation
auf Ebene des Typs, der Charge bzw. des Bauteils



Zugriff
Lesender und schreibender Zugriff über API

Maschinenlesbarkeit
Standardisierung von Syntax und Semantik

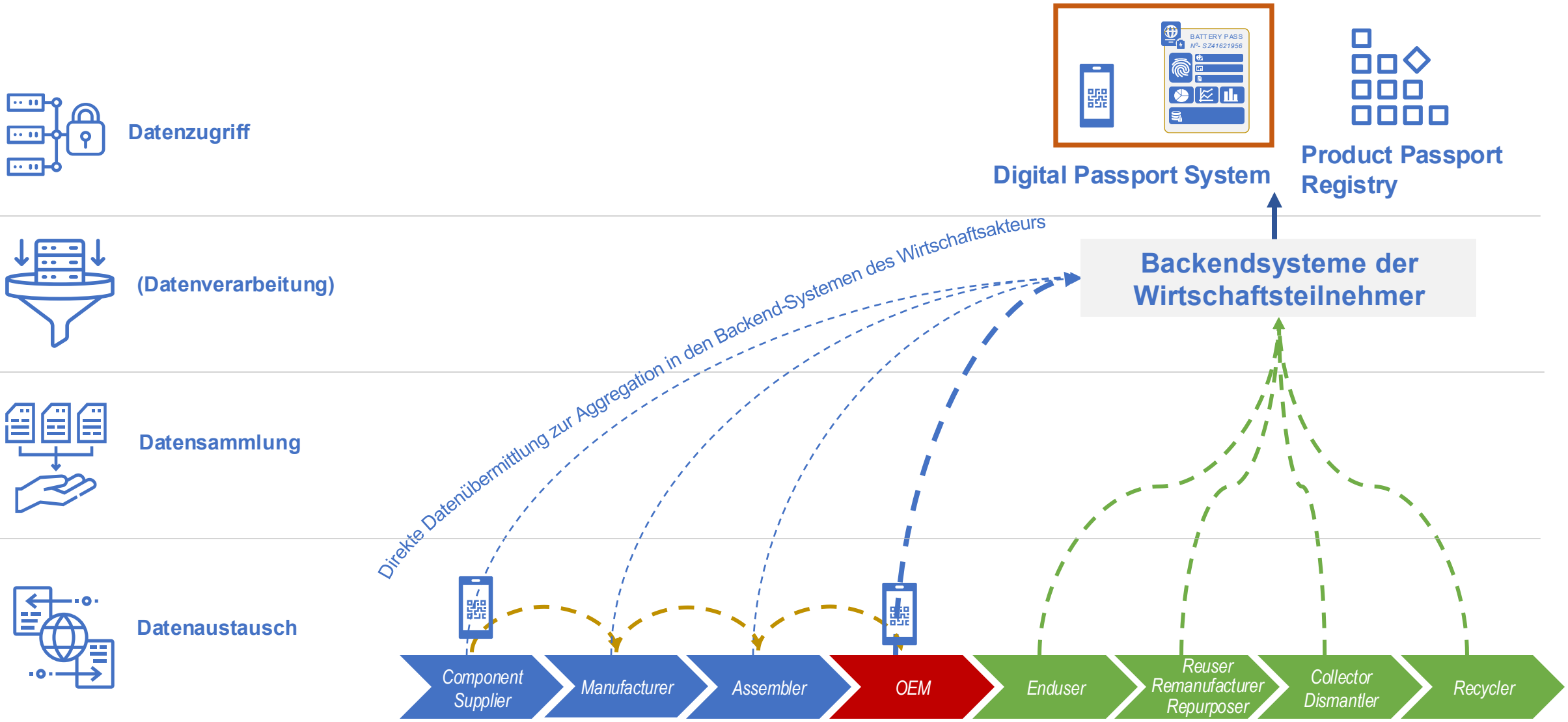
Datenqualität
Richtig, vollständig und auf dem neusten Stand

Interoperabilität
Offene Standards und übergreifende Kompatibilität

Relevante Standards & Datenmodelle

GHG-Protokoll	**Internationaler THG-Rahmen** (WRI & WBCSD). Scope 1/2/3-Einteilung. Produktlebenszyklus-Standard eng verwandt mit ISO 14067. ISO-Partnerschaft 2025.
ISO 14067	**PCF-Quantifizierung** & Berichterstattung. Basiert auf ISO 14040/14044. Klimawandel-Wirkungskategorie in CO_2eq. Erforderlich für DPP-konforme PCF-Berechnung.
DIN EN 182xx	**Technische DPP-Infrastruktur**: Datenaustausch (18216), Identifier (18219), Datenträger (18220), APIs (18222), Interoperabilität (18223), Sicherheit (18239).
DIN DKE 99100	**Digitaler Batteriepass-Standard**: Strukturierter Ansatz mit Pflicht- und Empfehlungsattributen. Dient als Blaupause für Leitungssatz-DPP (Definition geplant für den Bordnetz-Hub).
Catena-X	**Automobiles Datenökosystem:** PCF-Rulebook v4 + Aspektmodell io.catenax.pcf/9.0.0. Eclipse Dataspace Components (EDC).
AAS / IDTA	Asset Administration Shell: IDTA-02023 Carbon Footprint, IDTA-02035 Battery Pass (Blaupause), IDTA-02011 Hierarchical BoM. Kerntechnologie I4.0.
KBL / VEC	Engineering-Standards VDA-4964/4968. Enthalten **Stücklisten, Materialreferenzen, IMDS-Integration (referenceSystem).**
IMDS	**International Material Data System der Automobilindustrie**: Bereitstellung von Materialzusammensetzung, Rezyklat-Anteile, REACH/ELV-Compliance. Ab v15.0: PCF-Daten gemäß Catena-X PCF-Rulebook.

Überblick – Der Produktpass ist die Lebenszyklusakte des Produkts



Quelle: https://thebatterypass.eu

Analyse – Herausforderungen in der Praxis

1 Fragmentiertes Identitätsmanagement

– Dezentralisierte Lieferkette
– separate Teilenummerierungsschemata

– Kein durchgehendes unternehmensübergreifendes Identitätssystem

– Datensilos und inkonsistente, schlecht maschinenlesbare Produktmodelle

2 Datenkomplexität & Datenqualität

– IMDS-Materialbeschreibungen oft inkonsistent oder fehlend

– Inkonsistente Klassifikationen (VDA 231-106, ISO 1043) in IMDS

– Catena-X PCF-Modell sehr komplex und schwer befüllbar (z.B. biogenicCarbonContent)

3 Daten aus Produktion & Lieferkette

– Echtzeit-Datenerfassung bei manuellen Leitungssatz-Prozessen schwierig

– Richtige Datengranularität: Los- vs. Auftrags- vs. Einzelstückebene

– Schrittweise DPP-Anreicherung über alle Produktionsstufen nötig

4 IT-Infrastruktur & Werkzeuge

– Fragmentierte Systemlandschaft: ERP, PLM, MES, QM ohne Single Source of Truth

– KBL/VEC-Engineering-Modelle oft unzureichend für Datenraum-Umgebungen

– Keine vollautomatisierte End-to-End-PCF-Lösung am Markt verfügbar

Primäre Hindernisse für die DPP-Implementierung in der Leitungssatzindustrie: Datenqualität und Datenkomplexität

Lösungsansatz – Digital-Twin-Architektur für den Leitungssatz-DPP

Datenquellen:

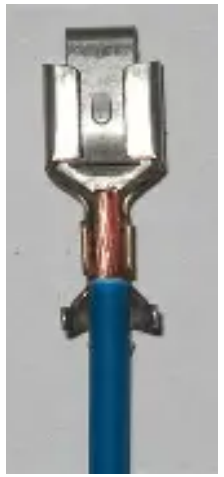
- KBL / VEC (Engineering)
- IMDS (Materialien)
- ERP / MES (Produktion)
- Catena-X (Lieferkette PCF)

Leitungssatz-DPP als Digitaler Zwilling mit der AAS

- IDTA-02023 Carbon Footprint (inkl. CX PCF v4)
- IDTA-02011 Hierarchical BoM (Stückliste)
- IDTA-02035-6 Material Composition (verallgemeinert)
- Technische Dokumentation (DIN EN 182xx)
- Produkt-identität (Global IDs)

→ Zielsystem: Interoperabler, maschinenlesbarer, dezentraler & zukunftssicherer DPP (DIN EN 182xx-konform)

PCF-Berechnung – Methodik & Crimpingprozess-Beispiel



Leitung (Input) → Terminal (Input) → **Crimpingprozess (Aktivität)** → **Gecrimptcs Kabel (Output)**

$$PCF_i = Einflusssdaten_i \times Emissionsfaktor_i$$

Quelle: https://www.motortrend.com/

PCF-Ermittlung am Crimpingprozess-Beispiel (deklarierte Einheit: 1 Stück gecrimptes Kabel)

Relevanter Einfluss	Einflussdaten	Emissionsfaktor	PCF (kg CO_2eq)
Leitung (Material)	gemäß IMDS-Daten	Primärdaten Zulieferer	≈ 1,0000
Terminal (Material)	gemäß IMDS-Daten	Primärdaten Zulieferer	≈ 0,0050
Crimpingprozess (Strom)	Stromverbrauch [kWh]	Primärdaten Zulieferer (Strommix)	≈ 0,0004
Isolationsabfall (Verbrennung)	Abfallmenge [kg]	Sekundärdatenbank	≈ 0,0001
Gesamt-PCF		*CX Cut-off-Regel: < 3% ausschließbar*	**≈ 1,0055 kg CO_2eq**

International Material Data System (IMDS)

https://www.mdsystem.com/

- IMDS ist die weltweit etablierte Plattform zur Erfassung und zum Austausch von Materialzusammensetzungsdaten in der Automobilindustrie.
- Zentrale webbasierte Datenbank zur Dokumentation der Material- und Stoffzusammensetzung von Bauteilen, Halbzeugen und Rohstoffen.
- IMDS erfasst nachhaltigkeitsbezogene Informationen, u.A. detaillierte Materialzusammensetzung und Stoffdeklarationen, Rezyklat-Anteile, Kunststoffkennzeichnungen für Sortierung und Recycling.
- Alle Materialien müssen gemäß VDA 231-106 klassifiziert werden. Das Feld „Normen/Standards" sollte vorzugsweise auf öffentliche Standards (DIN, EN, ISO, ASTM usw.) verweisen.
- Seit IMDS Version 15.0 können PCF-Daten eingegeben werden (am Catena-X PCF-Rulebook ausgerichtet).

Wesentliche Felder des IMDS-Materialdatenmodells:

Feld	Pflicht	Semantik / Regeln / Namenskonventionen
Name	Pflicht	Muss das Material selbst beschreiben (kein Handelsname). Öffentliche Standards bevorzugen (EN, ISO usw.). Englisch ist Pflicht; andere Sprachen optional.
Handelsname	Pflicht	Kommerzieller Name des Herstellers (z. B. „Teflon").
Interne Mat.-Nr.	Optional	Lieferanteninterner Bezeichner (nur zur internen Verwendung).
Std.-Mat.-Nr.	Pflicht	Standardmaterialnummer/-symbol aus öffentlichen Normen. Nur für Klassen 1–4.
Klassifikation	Pflicht	Basierend auf VDA 231-106 (Anlage I zu Empf. 001).
SCIP-Materialkategorie	Optional	EU-SCIP-Datenbankkategorie (REACH).
Zusätzliche Materialeigenschaften	Optional	Freitext, wenn keine Standardkategorie passt.
Normen / Standards	Pflicht	Öffentliche oder veröffentlichte Hausnormen.
Lieferant	Optional	Hersteller des Materials.
Bemerkung	Optional	Freitextkommentare.
Enthält Rezyklat?	Pflicht	Ja/Nein (gemäß Empf. 025).
Rezyklat-Anteil	Pflicht	Anorganischer/fossiler Rezyklat-Anteil.
Biobasierter Anteil	Pflicht	Aufschlüsselung primär + sekundär biobasiert.
Zusammensetzung (Stoffe)	Pflicht	Müssen im Endzustand exakt 100 % ergeben.

Catena-X PCF-Aspektmodell v4

https://github.com/eclipse-tractusx/sldt-semantic-models/blob/main/io.catenax.pcf/10.0.0/gen/

- Eigenschaften wie **biogenicCarbonContent** oder **landUseChangeEmissions** sind für viele Zulieferer schwer oder unmöglich bereitzustellen.
- Fallback-Mechanismen, Defaultwerte & abgestufte Datenqualitätsstufen für Zulieferer definieren!
- Bei fehlenden Daten sollte ein webbasierter Workflow für systematische PCF-Datenanforderung von Komponentenherstellern in Catena-X bereitgestellt werden!

Pflichtfelder (Crimping-Beispiel):

Eigenschaft	Status
pcfIncludingBiogenicUptake	**Pflicht**
pcfExcludingBiogenicUptake	**Pflicht**
fossilGhgEmissions	Optional
biogenicNonCO2Emissions	Optional
landUseChangeGhgEmissions	Optional
aircraftGhgEmissions	Optional

Fazit – Empfehlungen & Ausblick

1

Datenraum-Interoperabilität sicherstellen

Verpflichtende Verwendung **webbasierter, global eindeutiger Objektbezeichner** für Leitungssatz-Artefakte in KBL/VEC. Direkte **Integration der Engineering-Werkzeuge** in Catena-X und andere Datenräume.

2

Umfassende Werkzeugunterstützung bereitstellen

In Engineering-Werkzeugen **nahtlose IMDS-Integration**, geführte Datenerfassung und **automatisierte Datenvalidierung** ab den frühesten Phasen des Produktlebenszyklus.

Catena-X PCF-Berechnungsstandard vereinfachen

Fallback-Mechanismen, abgestufte Datenqualitätsstufen und **sinnvolle Standardwerte** bei fehlenden Primärdaten – insbesondere für Infrastrukturemissionen der Stromerzeugung, die viele Zulieferer realistischerweise nicht bereitstellen können.

4

Generalisierte Submodell-Templates (SMTs) entwickeln

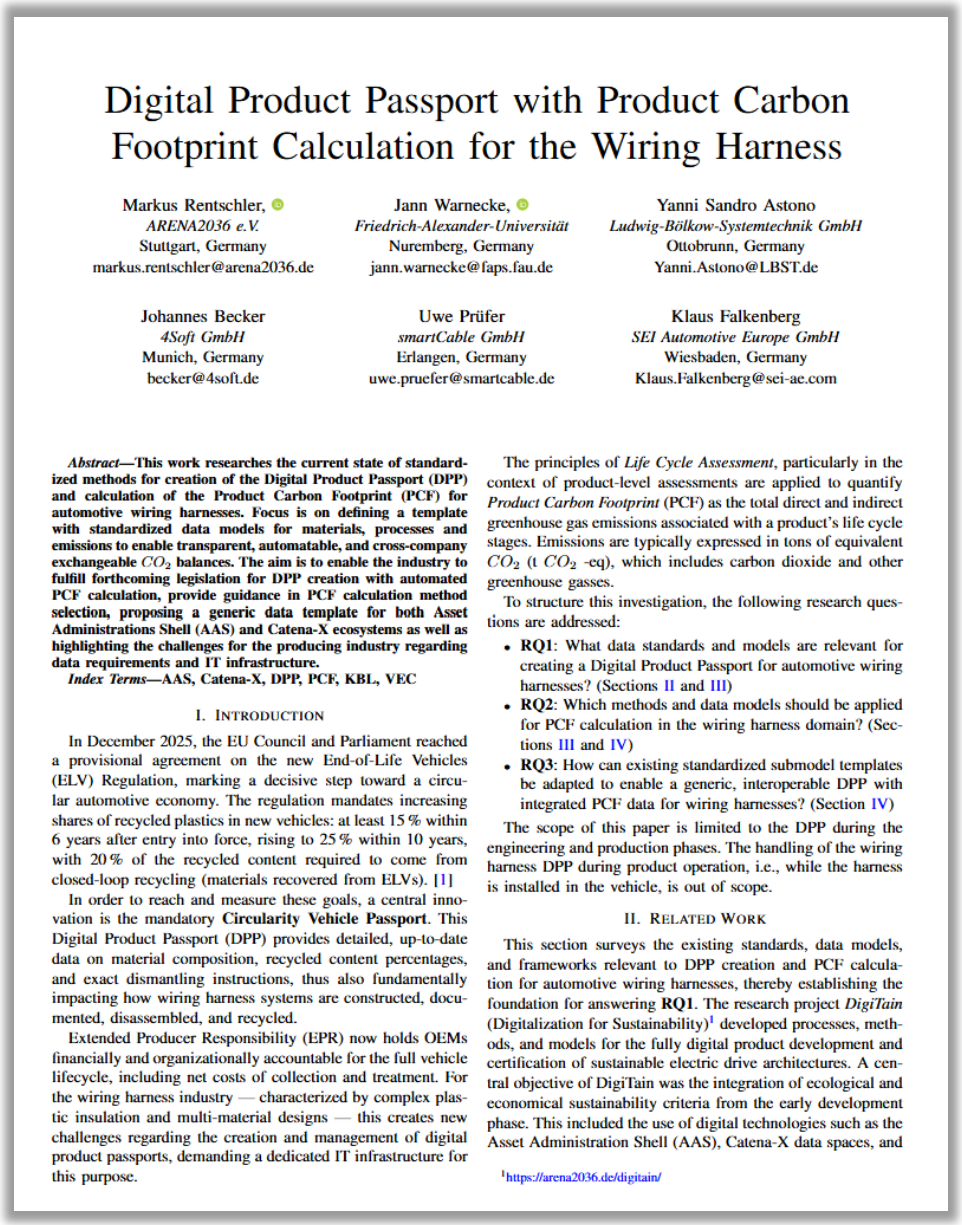
Neues IDTA-02xxxx-**Submodell für Materialzusammensetzung** (Verallgemeinerung aus IDTA-02035-6).
Spezifische SMTs für den Leitungssatz-DPP als neue IDTA-Reihe veröffentlichen.

🔬 **Datenraum-** und **Toolintegration** als Lösungsansatz für **Datenqualität** und **Verlinkbarkeit**!

Veröffentlichungen

→ https://scap-stuttgart.de/

Resultate des Begleitforschungs- und Digitalisierungsmodul der Robotik Challenge 2026:



Digital Product Passport with Product Carbon Footprint Calculation for the Wiring Harness

Markus Rentschler,
ARENA2036 e.V.
Stuttgart, Germany
markus.rentschler@arena2036.de

Jann Warnecke,
Friedrich-Alexander-Universität
Nuremberg, Germany
jann.warnecke@faps.fau.de

Yanni Sandro Astono
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH
Ottobrunn, Germany
Yanni.Astono@LBST.de

Johannes Becker
4Soft GmbH
Munich, Germany
becker@4soft.de

Uwe Prüfer
smartCable GmbH
Erlangen, Germany
uwe.pruefer@smartcable.de

Klaus Falkenberg
SEI Automotive Europe GmbH
Wiesbaden, Germany
Klaus.Falkenberg@sei-ae.com

***Abstract*—This work researches the current state of standardized methods for creation of the Digital Product Passport (DPP) and calculation of the Product Carbon Footprint (PCF) for automotive wiring harnesses. Focus is on defining a template with standardized data models for materials, processes and emissions to enable transparent, automatable, and cross-company exchangeable CO_2 balances. The aim is to enable the industry to fulfill forthcoming legislation for DPP creation with automated PCF calculation, provide guidance in PCF calculation method selection, proposing a generic data template for both Asset Administrations Shell (AAS) and Catena-X ecosystems as well as highlighting the challenges for the producing industry regarding data requirements and IT infrastructure.**

***Index Terms*—AAS, Catena-X, DPP, PCF, KBL, VEC**

I. Introduction

In December 2025, the EU Council and Parliament reached a provisional agreement on the new End-of-Life Vehicles (ELV) Regulation, marking a decisive step toward a circular automotive economy. The regulation mandates increasing shares of recycled plastics in new vehicles: at least 15 % within 6 years after entry into force, rising to 25 % within 10 years, with 20 % of the recycled content required to come from closed-loop recycling (materials recovered from ELVs). [1]

In order to reach and measure these goals, a central innovation is the mandatory **Circularity Vehicle Passport**. This Digital Product Passport (DPP) provides detailed, up-to-date data on material composition, recycled content percentages, and exact dismantling instructions, thus also fundamentally impacting how wiring harness systems are constructed, documented, disassembled, and recycled.

Extended Producer Responsibility (EPR) now holds OEMs financially and organizationally accountable for the full vehicle lifecycle, including net costs of collection and treatment. For the wiring harness industry — characterized by complex plastic insulation and multi-material designs — this creates new challenges regarding the creation and management of digital product passports, demanding a dedicated IT infrastructure for this purpose.

The principles of *Life Cycle Assessment*, particularly in the context of product-level assessments are applied to quantify *Product Carbon Footprint* (PCF) as the total direct and indirect greenhouse gas emissions associated with a product's life cycle stages. Emissions are typically expressed in tons of equivalent CO_2 (t CO_2 -eq), which includes carbon dioxide and other greenhouse gasses.

To structure this investigation, the following research questions are addressed:

- **RQ1**: What data standards and models are relevant for creating a Digital Product Passport for automotive wiring harnesses? (Sections II and III)
- **RQ2**: Which methods and data models should be applied for PCF calculation in the wiring harness domain? (Sections III and IV)
- **RQ3**: How can existing standardized submodel templates be adapted to enable a generic, interoperable DPP with integrated PCF data for wiring harnesses? (Section IV)

The scope of this paper is limited to the DPP during the engineering and production phases. The handling of the wiring harness DPP during product operation, i.e., while the harness is installed in the vehicle, is out of scope.

II. Related Work

This section surveys the existing standards, data models, and frameworks relevant to DPP creation and PCF calculation for automotive wiring harnesses, thereby establishing the foundation for answering **RQ1**. The research project *DigiTain* (Digitalization for Sustainability)[1] developed processes, methods, and models for the fully digital product development and certification of sustainable electric drive architectures. A central objective of DigiTain was the integration of ecological and economical sustainability criteria from the early development phase. This included the use of digital technologies such as the Asset Administration Shell (AAS), Catena-X data spaces, and

[1] https://arena2036.de/digitain/

ARENA2036-Mitmachangebot zum DPP

Worum geht es?

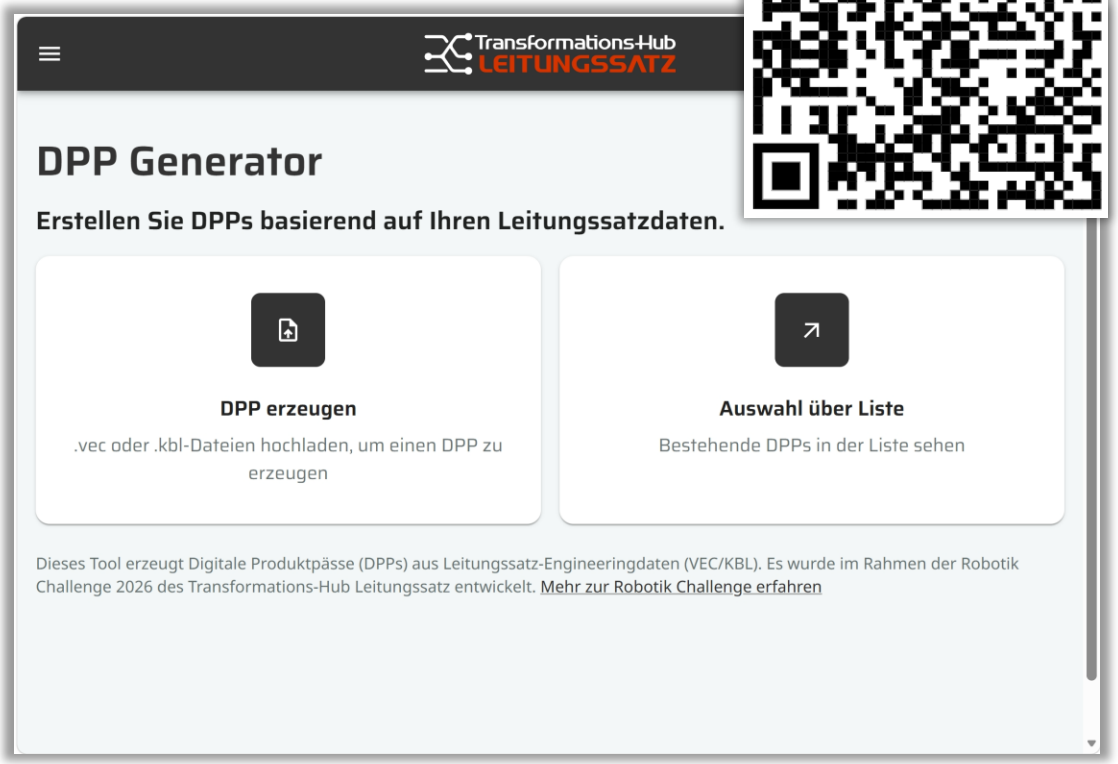
- Wann und wie entsteht der DPP eines Produkts ?
- Welche Bestandteile sind im DPP notwendig ?
- Wir wird ein CO_2-Fussabdruck bzw. ein PCF ermittelt ?
- Wie wird ein DPP bereitgestellt ?

Im Zuge der Robotik Challenge 2026 wurden erste Lösungsansätze erarbeitet. Diese Infrastruktur steht für konkrete Use Cases und gemeinsames Weiterentwickeln bereit:
https://dpp-generator.arena2036.app/
https://github.com/ARENA2036/THLS-DPP-mnestix-browser

Wie kann ich mitmachen?

- Beteiligen Sie sich an den Aktivitäten des kommenden **Bordnetz-Hub**-Projekts.
- Diskutieren Sie mit uns eigene Lösungen, Fragen und Use Cases mit.

Kontakt
Markus Rentschler
markus.rentschler@arena2036.de



XITASO

Confidential

XITASO GmbH

Unsere Leistungen für Ihre AAS- und DPP-Lösungen

Support

- Industrial BaSyx
- Betrieb & Wartung
- Updates & Migration

Einführungsunterstützung

Wir unterstützen beim Einführen der AAS und dem Aufsetzen einer passenden Infrastruktur basierend auf Eclipse BaSyx und Eclipse Mnestix

Umsetzung

- Ihre ETL-Prozesse
- Ihre Use Cases
- Ihre User Experience
- Ihr Deployment
- Ihre Skalierung

Proof of Value

Modellierung und Visualisierung von Verwaltungsschalen, um die Mehrwerte von Use Cases schnell zeigen zu können.

Consulting & Workshops

- Use Cases & Customer Journeys
- Erarbeitung einer Zielarchitektur
- Nichtfunktionale Anforderungen

Partnerschaften und Lösungen

NEO

Industrial BaSyx

Mnestix by XITASO