Amsterdam University of Applied Sciences

Technology Enabled Comprehensive High-Tech Product Passports for Access to Solutions

Author(s)
Lange, K.P.H.; Boermans, D.D.; Helmus, J.R.; Oskam, I.F.

Publication date
2025

Document Version
Final published version

Link to publication

Citation for published version (APA):
Lange, K. P. H., Boermans, D. D., Helmus, J. R., & Oskam, I. F. (2025). *Technology Enabled Comprehensive High-Tech Product Passports for Access to Solutions*.

General rights
It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations
If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please contact the library: https://www.amsterdamuas.com/library/contact, or send a letter to: University Library (Library of the University of Amsterdam and Amsterdam University of Applied Sciences), Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Creating Tomorrow

Download date:16 Jan 2026

TECH VALLEY
NEXT GENERATION MACHINE ENGINEERING

Hogeschool van Amsterdam

TECHPASS

Technology Enabled Comprehensive High-Tech Product Passports for Access to Solutions

KIEM HighTech Project - HT.KIEM.01.068

Diana Boermans
Jurjen Helmus
Inge Oskam
Kasper Lange

SIA Regieorgaan

Creating Tomorrow

Samenvatting

In deze studie is onderzocht hoe **kleine en middelgrote ondernemingen (MKB)** in de **hightech maakindustrie Digital Product Passports (DPP's)** kunnen **toepassen** om hun **business te versterken met circulaire economie-praktijken**.

Op basis van een **literatuuronderzoek, interviews en workshops met zes Nederlandse MKB's** verkent dit onderzoek

- Hoe MKB's de uitdagingen en kansen van DPP's ervaren
- Hoe adoptie kan evolueren van naleving naar circulaire businessmodellen
- De rol van digitale technologieën.

Hoewel DPP's centraal staan in het actieplan voor de circulaire economie van de EU, blijven de **praktische trajecten voor mkb's onduidelijk.** Mkb's staan voor uitdagingen: **onduidelijke regels, onzekerheid en gebrek aan instructies** met betrekking tot de praktische vereisten belemmeren het maken van investeringen. Het aanpakken van deze uitdagingen is cruciaal om ervoor te **zorgen dat mkb's worden betrokken** bij de circulaire transitie.

Workshops lieten mkb's zien **hoe DPP's kunnen worden ingezet om de operationele efficiëntie te vergroten en tegelijkertijd mogelijkheden voor circulaire innovatie** te bieden. **Eenvoudige technologieën** zoals QR-codes en microsensoren bieden hierbij kansrijke oplossingen voor onder andere predictive maintenance, refurbishment, remanufacturing, modulaire upgrades en leasevormen.

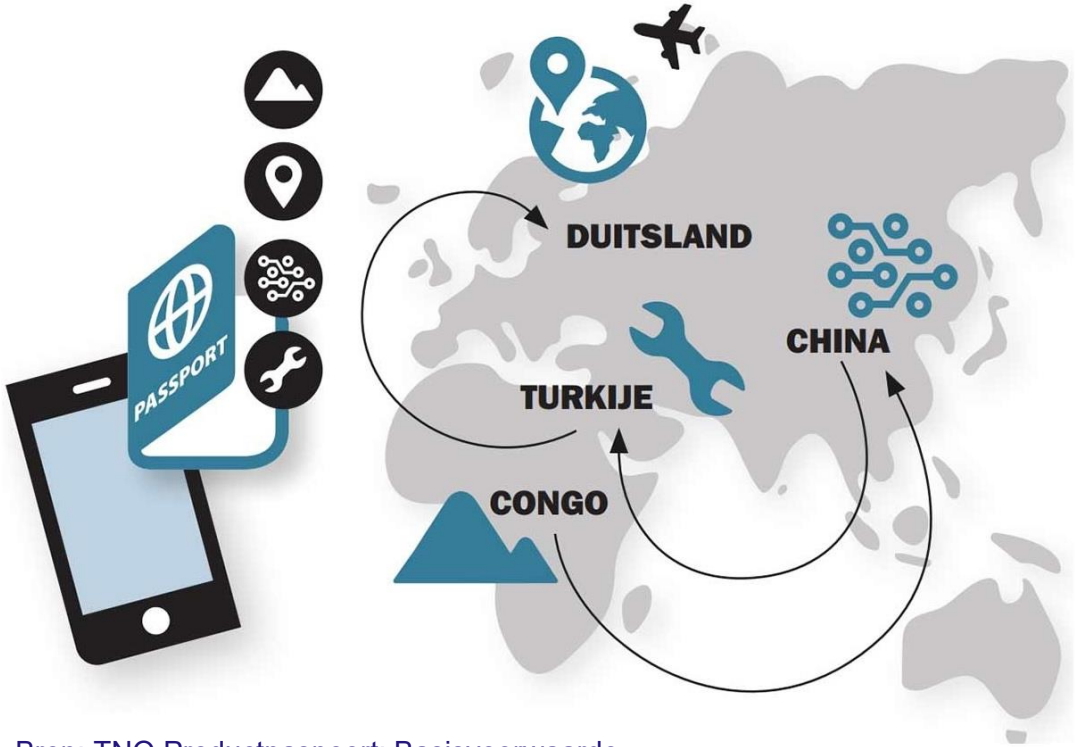
De studie presenteert een **roadmap voor technologie- en businessmodelinnovatie**, waarmee de bedrijven op korte termijn stappen kunnen zetten, óók wanneer de wettelijke kaders nog niet volledig ontwikkeld zijn.

Zo laat deze studie zien dat **DPP's niet alleen nuttig zijn voor compliance**, maar juist kunnen worden **ingezet als hulpmiddelen voor circulaire waardecreatie en competitief voordeel**.

Inhoudsopgave

- Hoofdvraag
- Scope
- Overzicht projectactiviteiten
- Technologieverkenning (WP1)
- Circulaire businesskansen (WP2)
- Roadmap (WP3)
- Meer informatie

“Het productpaspoort is een digitaal document dat bij transacties tussen bedrijven, over de keten heen, informatie geeft over producten”



Bron: TNO Productpaspoort: Basisvoorwaarde voor een duurzame economie (tno.nl)

Partners

TECH VALLEY
NEXT GENERATION MACHINE ENGINEERING

HGG

EKB

FME POWERED BY DUTCH TECHNOLOGY

Regieorgaan SIA

EMT Manufacturer of Blending, Bagging and Transport equipment

koninklijke metaalunie

Hogeschool van Amsterdam

Hoofdvraag

Hoe kunnen digitale technologieën ondernemers en engineers van MKB'ers in de high tech maakindustrie helpen bij het implementeren van DPP's om zo te komen tot praktische, haalbare en duurzame circulaire oplossingen?

Door een gefaseerde roadmap waarin laagdrempelige technologieën (QR, IoT, Cloud) stapsgewijs worden gekoppeld aan circulaire businessmodellen (onderhoud, refurbishment, leasing), zodat DPP's evolueren van compliance-instrument naar enabler van waardecreatie.

Scope

Context MKB high tech maakindustrie

- **MKBers vinden uitdagend om circulariteit en efficiënt gebruik van grondstoffen te realiseren** door gebrek aan gestructureerde informatie over materialen, gebruikscondities en terugwinningsopties.
- **Rol van Digital Product Passports (DPPs)**: DPPs zetten gefragmenteerde data om in gestructureerde systemen, waardoor transparantie, traceerbaarheid en samenwerking in de waardeketen mogelijk worden en nieuwe circulaire businessmodellen ondersteund worden.
- **Voordelen voor ketenpartners**: Door data toegankelijk te maken in de hele supply chain, vormen DPPs de basis voor innovatieve modellen zoals product-as-a-service en versterken ze het vertrouwen tussen MKB en OEM's.

Huidige kennis over DPPs

- **Er is nog weinig praktijkonderzoek gedaan naar DPP's bij MKB.** Integratie in MKB-processen is beperkt, ondanks veelbelovende inzichten over koppeling van DPP-data aan operationele indicatoren.
- **Belangrijkste knelpunten: Schaalbaarheid, hoge kosten, beperkte middelen, gefragmenteerde databases en onduidelijke raamwerken belemmeren effectieve toepassing.**
- **Noodzaak voor maatwerk voor MKB**: Er is dringend behoefte aan MKB-specifieke oplossingen die betrouwbare datastromen mogelijk maken voor circulariteit en innovatie.

Doel van het project

- **DPP als aanjager** voor circulaire **businessmodellen** waarmee MKBers **waarde** kunnen **creëren**.
- **Inzicht** in **hoe nieuwe digitale technologieën** gebruik kunnen worden om **data** om te verzamelen en om te zetten naar bruikbare **DPPs**
- **Ontwikkelen** van een **praktische roadmap die DPP-compliance koppelt aan circulaire waardecreatie**.

Overzicht projectactiviteiten

WP1

- Technologieverkenning → QR/NFC, IoT, Cloud, Blockchain

WP2

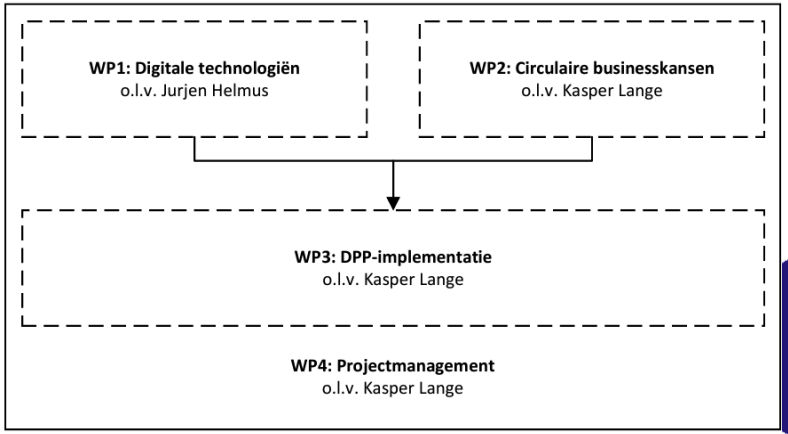
- Businesskansen → SWOT, CIRCO, cases EMT/EKB/HGG/SPH

WP3

- Implementatie → integratie technologie + business, roadmap

WP4

- Projectmanagement



Technologieverkenning (WP1)

DPP's implementatie kan worden vereenvoudigd door middel van digitale technologieën die de identificatie, vastlegging, verwerking en uitwisseling van levenscyclusgegevens in waardeketen mogelijk maken.

Terwijl grote fabrikanten geavanceerde infrastructuren zoals blockchain of digitale tweelingen onderzoeken, hebben MKB'ers behoefte aan technologieën die **betaalbaar en interoperabel** zijn en **aansluiten bij bestaande operationele praktijken** (Lange et al., 2025, Wicaksono et al., 2025).

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de **belangrijkste ondersteunende technologieën** die te vinden zijn in Lange et al. (2025), inclusief technologische volwassenheid en de specifieke implicaties voor de **toepassing door MKB'ers.**

- **QR- & NFC-identificatie**
- **IoT & microsensoren**
- **Cloud- & edge computing**
- **Blockchain & DLT**
- **Datastandaarden (AAIS, ISO, OPC UA, Ontologieën)**

Digitale Technologieën als Enablers van DPP’s

- DPP’s vragen om technologieën voor identificatie, datacaptatie, verwerking en uitwisseling.
- Grote bedrijven gebruiken blockchain of digital twins; SME’s hebben betaalbare, eenvoudige en interoperabele oplossingen nodig.
- Overzicht van belangrijkste technologieën én hun adoptiewaarschijnlijkheid voor SME’s.
- Volgorde van adoptie: QR/NFC → IoT → Cloud/Edge → Blockchain (optioneel, lange termijn).

Tech 1: QR- en NFC-tags als basis van DPP-implementatie

- Koppelen fysiek product aan digitaal paspoort via unieke ID's (ISO/IEC 15459), QR-codes: lage kosten, universeel leesbaar, eenvoudig te koppelen aan ERP-systemen.
- Toepassingen: manuals, spare parts, firmware, refurbish-instructies.
- Resultaten uit pilots: minder foutieve onderdelenbestellingen, betere documentatie.
- Risico: open QR-links kunnen data lekken → beveiliging cruciaal.
- NFC: veiliger en duurzamer, maar duurder.
- Beste inzet: vroege adoptiefase (0–4 jaar).

Tech 2: IoT als motor van datagedreven lifecycle-management

- Real-time data: gebruik, temperatuur, trillingen, slijtage, toestand.
- Communicatie via industriestandaarden (MQTT, OPC UA).
- DPP wordt een actief monitoringsinstrument, geen statisch archief.
- Waarde voor SME's:
  - ✓ Predictive maintenance
  - ✓ Kortere reparatietijden
  - ✓ Minder stilstand
  - ✓ Gebruik-gebaseerde garantie
- Uitdagingen: interoperabiliteit, beveiliging, energiezuinige sensoren.
- Technologie is volwassen (TRL 8–9) → geschikt voor adoptie op middellange termijn (2–7 jaar).

Tech 3: Cloud en Edge als digitale ruggengraat van DPP’s

- Cloud: schaalbaar, flexibel, wereldwijd toegankelijk, goede opslagstructuren.
- Edge: lokale verwerking → lagere latentie, hogere robuustheid, minder datatransfers.
- Voor SME’s:
  ✓ Cloud is vaak meest haalbaar (weinig interne IT nodig).
  ✓ Zorgen over vendor lock-in, governance, kostenonzekerheid.
- **Hybride cloud–edge** biedt balans tussen controle en schaalbaarheid.

Tech 4: Blockchain voor transparantie en databetrouwbaarheid

- Onveranderlijke, transparante transactieregisters.
- Smart contracts automatiseren certificering, onderhoudslogs, eigendom.
- Maar voor SME's:
  - ✓ Te duur, te complex, hoge energieconsumptie.
  - ✓ Governance nog onduidelijk.
  - ✓ Niet nodig voor basis-DPP-functionaliteit.
- Positie: lange termijn (7+ jaar), optioneel. Geen prioriteit voor huidige SME-implementaties.

De Asset Administration Shell als basis voor DPP

Digitaal Productpaspoort (DPP)

- Een digitale tweeling gericht op productgegevens over de hele levenscyclus
- Vereist interoperabiliteit op meerdere niveaus: technologisch, semantisch en organisatorisch

Asset Administration Shell (AAS)

- Sleutelelement voor interoperabiliteit binnen productiesystemen
- Maakt een gemeenschappelijk informatiemodel mogelijk tussen interne bedrijfsprocessen en actoren in de waardeketen
- Ondersteunt gegevensverzameling en integratie gedurende de volledige levenscyclus van een product

Voordelen van een DPP op basis van AAS

- Versterkt circulaire innovatie via veilige en soevereine gegevensuitwisseling
- Integratie bevordert kennismodellering en levenscyclusbeheer
- Toepasbaar in praktijkvoorbeelden zoals Catena-X en IDTA-projecten voor gebruiksvriendelijke DPP’s

Samenvatting

De volgende pagina geeft een overzicht van de onderzochte digitale technologieën die als enablers van DPP's gebruikt kunnen worden.

Technologie	Functie	Relevantie voor MKB	Uitdagingen voor MKB	Adoptie
Identificatie	Quick Response (QR) codes leggen de basis voor DPPs door de link te leggen tussen fysieke producten en bijbehorende digitale informatie door middle van een unieke identifier (Langley et al., 2023)	Lage kosten, eenvoudig implementeren; ondersteunt traceerbaarheid voor CE (Westerlund et al., 2021; Kaasinen, 2022)	Gegevensbeveiliging als open links niet beschermd zijn (Virkkiunen en Jusso Toiv DS-Scan Ltd, 2023)	Vroege fase: snelle adoptie mogelijk, niet afhankelijk van wet- en regelgeving.
NFC identification	Near Field Communication (NFC) legt, net als QR , ook een link tussen een fysiek product en de digitale informatie (Langley et al., 2023, Kaanen, 2022).	Lage kosten, eenvoudig te implementeren; ondersteunt traceerbaarheid & circulariteit (Westerlund et al., 2021; Kaasinen, 2022)	NFC tags zijn veiliger en duurzamer dan QR, maar kosten meer (Virkkiunen en Jusso Toiv DS-Scan Ltd, 2023)	Vroege fase: snelle adoptie mogelijk, niet afhankelijk van wet- en regelgeving.
IoT combined with Microsensors	Maken DPPs meer dynamisch door active lifecycle monitoring mogelijk te maken. Real-time data over gebruikscondities en operationele status wordt geregistreerd, vaak gebruikmakend van industriële protocollen (zoals MQTT of OPC UA) (Voulgaridis et al., 2024)	Maakt voorspellend onderhoud, wederverkoop, reparatie, refurbishing mogelijk (Langley et al., 2022)	Interoperabiliteit, gegevensbeveiliging, energie-efficiëntie (Yordanova et al., 2024)	Vroege tot middellange termijn. : IoT ecosystemen zijn commercieel volwassen en worden steeds goedkoper.
Cloud Computing	Cloud computing dient als basis voor gestructureerde DPP inrichting. Schaalbare opslagmogelijkheden, aanpasbare rekenkracht, en wereldwijde toegankelijkheid naar levenscyclus data	Integratie met MKB-systemen en ERP; ondersteunt traceerbaarheid (Yordanova et al., 2024b)	Interoperabiliteit, gegevensbeveiliging, energie-efficiëntie (Yordanova et al., 2024)	Middellange termijn: hybride cloud–edge systemin zijn veelbelovend en praktisch om data soevereiniteit en schaalbaarheid beide mogelijk te maken.
Edge computing	Edge computing maakt cloud computing krachtiger door data lokaal te kunnen verwerken op machines of gateways, waarmee energie verbruik, vertraging en onnodige dataverzendingen verminderd worden , terwijl de betrouwbaarheid en veiligheid verbeteren (Götz, 2022).	Integratie met MKB-systemen en ERP; ondersteunt traceerbaarheid (Yordanova et al., 2024b)	Aansluiting met andere devices en systemin	Middellange termijn: hybride cloud–edge systemin zijn veelbelovend en praktisch om data soevereiniteit en schaalbaarheid beide mogelijk te maken.
Blockchain & DLT	Zorgen voor manipulatie detective in transacties over de waardeketens heen (Pohlmann et al., 2024). Slimme contracten kunnen acties in de levenscyclus automatiseren, zoals certificering, onderhoudsregistratie of eigendoms-overdracht (Psarommatis en May, 2024).	Langetermijnmogelijkheid voor zelf controle en verhoogd vertrouwen (Parsamondi en Masiero, 2023) 24)	Hoge kosten, complexiteit, onduidelijke governance (H. Heess)	Optioneel, lange termijn (blockchain). DLT is niet vereist voor MKBers
Data Standards (AAS, ISO, OPC UA, Ontologies)	Zorgen voor interoperabiliteit en eenheid (Gunnarsson & Mignot, 2023, Reike et al., 2018)	Verminderen onzekerheid, voorkomt lock-in, meetbare CE progress	Fragmentatie, gebrek aan harmonizatie	Lang etermijn

Circulaire businesskansen (WP2)

Hoewel grote bedrijven vooroplopen, ervaren mkb's uitdagingen door onduidelijke richtlijnen en standaarden rondom DPPs. MKB's kampen bovendien met hoge kosten en administratieve lasten, gebrek aan gestandaardiseerde modellen en gefragmenteerde IT-integratie. Terughoudendheid om data te delen uit angst voor concurrentienadeel, vooral tegenover niet-EU-bedrijven, remmen adoptie van DPPs.

Toch blijkt uit dit project ook dat **DPPs businesskansen opleveren:** datatransparantie verbetert inkoopprocessen en risicobeheer, en levenscyclusdata ondersteunt kwaliteitsverbetering en nieuwe verdienmodellen, gericht op service, reparatie en opknappen.

Vroege adoptie van DPPs kan dus **concurrentievoordeel** bieden.

SWOT-analyse voor de introductie van DPP: Kansen en barrières

DPP speelt een cruciale rol in digitale transformatie door het stroomlijnen en automatiseren van bedrijfsprocessen. Met de deelnemers werden de sterktes, kansen, zwaktes en bedreigingen onderzocht.

Politieke factoren

Economische factoren

Sociale factoren

Technologische factoren

Ecologische factoren

Juridische factoren

Digitale Productpaspoorten (DPP)

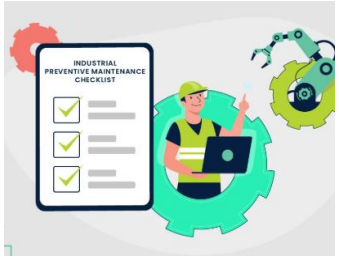
Inzichten uit workshops en interviews met praktijkpartners

UITDAGINGEN

- **Gebrek** aan duidelijke **richtlijnen**
- Hoge **implementatiekosten** & **concurrentiepositie**
- **Integratie** met **ERP-systemen**
- **Controle** over **QR-code-informatie**
- **Onzekerheid** over **wetgeving**

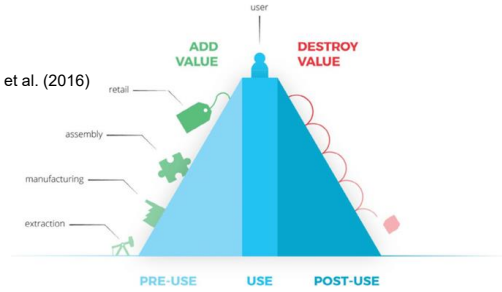
KANSEN

- Betere **productinformatie & service**
- Nieuwe **verdienmodellen** zoals leasing & refurbishment
- Duurzamer **ontwerp** & minder nieuwe grondstoffen nodig
- **Data gedreven onderhoud**



Waardeketen analyse

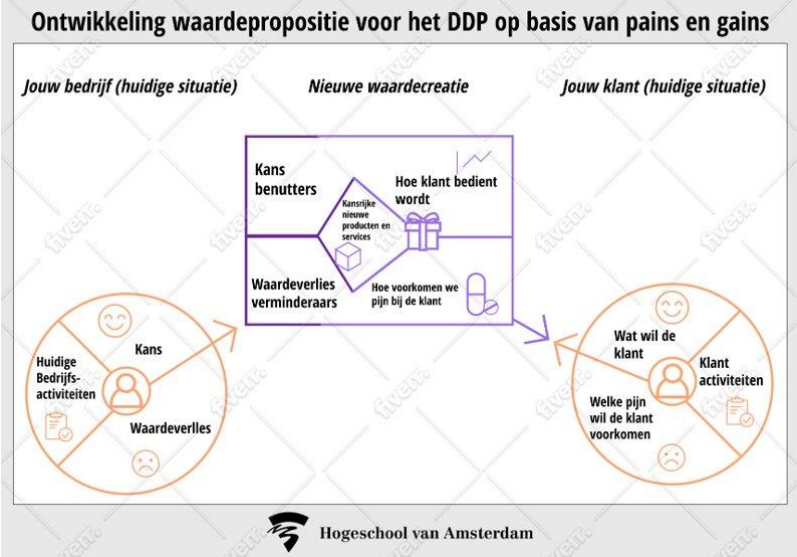
Achterberg et al. (2016)



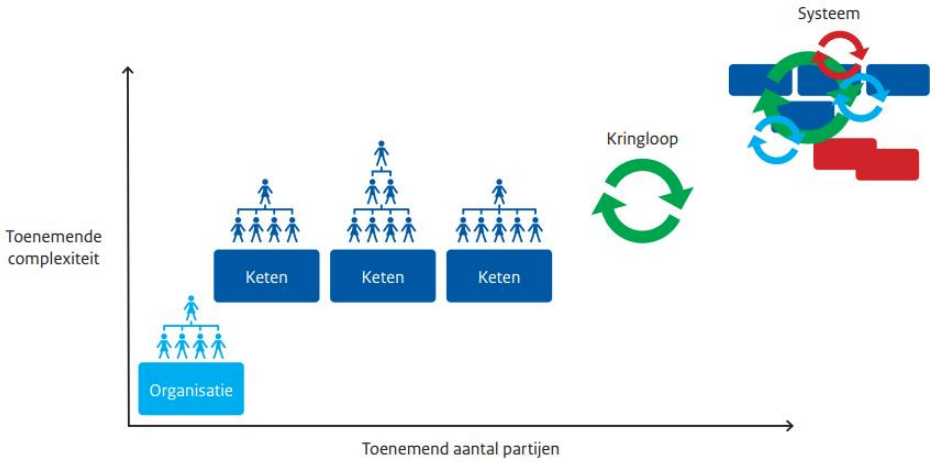
Actoren	**Onderdelenfabrikant** Robot – vaste leverancier Elektronica: regelaars, motoren – vaste leveranciers Elders	**Grondstoffabrikant** RVS Kunststof Staal	**Ingenieurs Ontwerpers**	Testing	Concurrent	Verkoper - zlef?	Inzamelaar	Recycling Bedrijf	**Gebruiker** Wereldwijd, veel vaste klanten	**Onderdelen** – via leverancier mogelijk **Onderhoud** – via leverancier mogelijk	Training voor klanten om kleine storingen zelf op te lossen	**Afvalverwerker Inzamelaar Recyclingbedrijf**				
Waarde Vernitiging	Elektronica komt vaak van buiten de EU, wat beschikbaarheidsproblemen kan opleveren.	Verwerking van kunststof is moeizaam – kan problematisch zijn als het niet op voorraad is.	Veel elektriciteitsverbruik voor testing, soms wekenlang – onmogelijk via zonnepanelen.		Concurrentie is óf goedkoper óf beter		Karton – 2 containers per week Plastic verpakkingen, vetten Zaagsnijverlies, fouten Batterijen – veel, B-merk in gebruik		Alle accu's moeten jaarlijks vervangen worden – risico bij lege batterijen: back-ups kwijt			Veel komt in lokaal afval terecht Opkopen is niet interessant Kapotte elektronica – verantwoordelijkheid ligt bij de klant				
Kansen	Circulair gebruik kan helpen de afhankelijkheid van leveringen van buiten de EU te verminderen.							Oplaadbare accu's		Digitale onderhoudsinstructie Preventief onderhoud			Lease/verhuur doen ze nog niet – wel een optie voor gestandaardiseerde machines.			
Fase	Sourcing				Productie					Gebruik			End of Life			

Waardecreatie op basis van de waardenketenanalyse

- Waar in de waardeketen ontstaan **waardeverliezen**, en waar liggen de grootste kansen voor **waardecreatie**?
- Welke informatie over **gebruik, onderhoud, reparatie en afdanking** is nodig om die waardecreatie te ondersteunen?
- Wat mag het **kosten**, hoe rendabel zijn de kansen, en welke **investering** of **inspanning** is nodig?
- Welke **digitale technologieën** kunnen waardecreatie ondersteunen? Hoe?
  - Wat zijn de grootste **zorgen, risico's en barrières**? Welke concrete kansen zien de bedrijven zelf om waarde te behouden of te vergroten?



Naar een circulair businessmodel met DPPs



Is het wenselijk? → **Waarde propositie**

Is het haalbaar? → **Waarde creatie + Waarde levering**

Is het levensvatbaar? → **Waarde capture**

Business model experimentation (Konietzko et al., 2020)

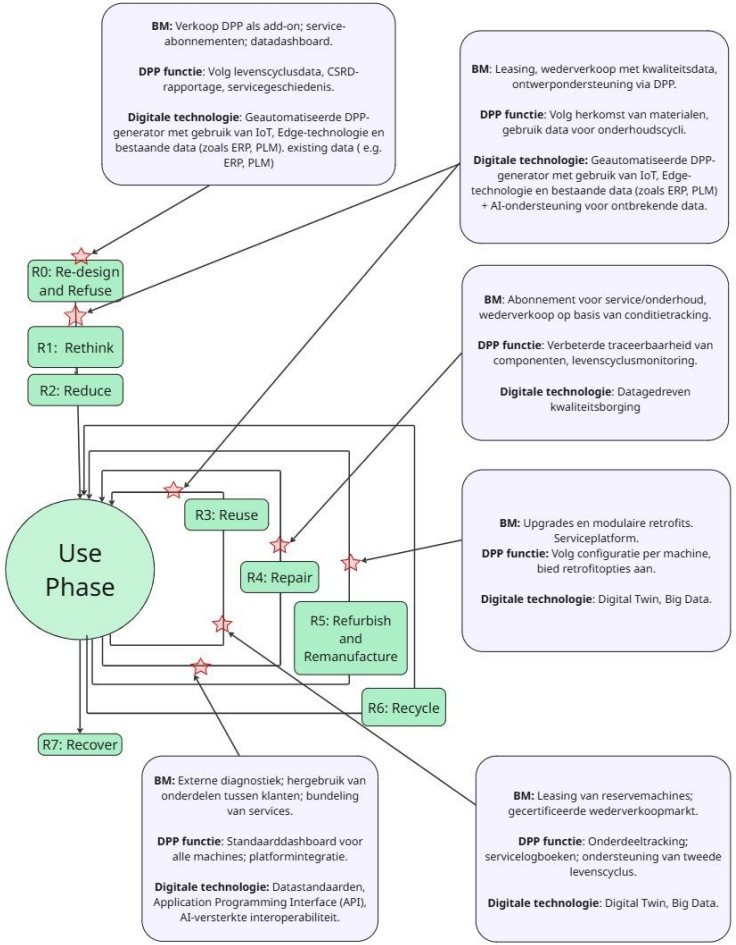
Regieorgaan SIA

Hogeschool van Amsterdam

Resultaat:

diverse circulaire businesskansen, afhankelijk van type bedrijf en product

Product	Gewenste technologie als DPP enabler	Technologie wordt gebruikt voor
Portable machine	QR codes	Resale and refurbishment
Electronic equipment	Sensors	Remote troubleshooting and predictive maintenance.
Heavy machinery	IoT and ERP integration	Systematize refurbishment and part harvesting
Mid-scale industrial equipment	Microsensors	Preventive maintenance and service contracts



Diverse circulaire businesskansen, afhankelijk van type bedrijf en product

De ontwikkelde businessmodellen kunnen worden geclassificeerd volgens drie hoofdstrategieën: **vertragen, sluiten en vernauwen van materiaalkringlopen** (Bocken et al., 2018).

De MKBers blijken zich vooral te richten op strategieën die het vertragen van materiaalstromen bevordert. Dit zijn strategieën zoals circulair herontwerp, hergebruik, reparatie en remanufacturing. Verminderen van afhankelijkheid via hergebruik en recycling vereist systeemoplossingen. Recycling is daarom nauwelijks interessant voor MKBers.

De **circulaire business kansen verschillen per bedrijf, en per product.**

- Leasing en **buy-back voor reselling** zijn vooral haalbaar bij l**okale afzetmarkten** en bij machines die seizoensgebonden gebruikt woren
- **Harvesting van onderdelen** wordt gezien als duurzame alternatief, maar roept gemengde reacties op in verband met **garantiebepalingen.**
- **Predictive maintenance** en uptimegaranties hebben bredere potentie: sensoren en tracking verminderen downtime en verbeteren service. Voorbeelden van toepassing van DPP's van microsensoren en QR-codes voor servicecontracten tot koppeling van slijtagegegevens voor remote troubleshooting. Refurbishment en take-back modellen ontstaan.
- **Modulariteit en retrofit** bieden groeikansen. **Digitale add-ons** en modulaire upgrades via DPP's nieuwe service- en productlevenscycli mogelijk
- **Beperkingen bij end-of-life machines**: lage restwaarde en **hoge transportkosten** maken recycling onaantrekkelijk; focus verschuift naar levensduurverlenging.
- **Traceerbaarheid van onderhoud is cruciaal**; IoT en financiële prikkels worden als oplossingen genoemd.
- Strategische materialen en onderdelen.

Integratie technologie + businesskansen → Roadmap voor implementatie

- Na de technologieverkenning en het identificeren van circulaire businesskansen, is een **roadmap voor DPP implementatie bij mkb's in de hightech maakindustrie ontwikkeld.**

- Deze roadmap is op basis van relevante literatuur, workshops, interviews en de waardeketenanalyses in de voorgaande werkpakketten opgesteld.

- **De roadmap laat zien hoe DPP's kunnen worden ingezet als middel om de operationele efficiëntie te vergroten en tegelijkertijd mogelijkheden voor circulaire innovatie** te bieden.

- **Eenvoudige technologieën** zoals QR-codes en microsensoren bieden kansrijke oplossingen voor onder andere predictive maintenance, refurbishment, remanufacturing, modulaire upgrades en leasevormen.

- Met deze **roadmap voor technologie- en businessmodelinnovatie**, waarmee de bedrijven op korte termijn stappen kunnen zetten, óók wanneer de wettelijke kaders nog niet volledig ontwikkeld zijn.

- De roadmap voorziet hiermee in de wens om **DPP's niet alleen nuttig te laten zijn voor compliance**, maar juist ook **inzetbaar zijn als hulpmiddelen voor circulaire waardecreatie en competitief voordeel**.

Roadmap voor adoptie van DPP’s in MKB

Fase 1 – Voorbereiding & Data-gereedheid

MKB’s hebben vaak **versnipperde data** en **onduidelijke regelgeving**. Deze fase richt zich op het **creëren van basisstructuur** en transparantie met eenvoudige tools zoals QR- of NFC-tags. Subsidies en belastingvoordelen helpen de instap te verlagen.

Fase 2 – Operationele efficiëntie

DPP’s worden geïntegreerd in dagelijkse processen om **downtime en fouten te verminderen**. IoT-monitoring en cloudregistraties ondersteunen betrouwbare operaties, terwijl **vereenvoudigde compliance mechanismen** de adoptie vergemakkelijken.

Fase 3 – Innovatie van circulaire businessmodellen

Met goede data kunnen MKB’s **experimenteren met circulaire modellen** zoals refurbishment, modulaire upgrades, leasing of voorspellend onderhoud. DPP’s worden zo een motor voor nieuwe circulaire businessmodellen, afgestemd op sectorale voorkeuren.

Fase 4 – Ecosysteemintegratie

Samenwerking tussen MKB’s, OEMs en andere partijen **wordt cruciaal**. DPP’s verbinden ketens via gedeelde standaarden, **trusted data-hubs en consortia** zoals CIRPASS2. Beleidssteun voor interoperabiliteit en gezamenlijke financiering maakt systemische verandering mogelijk.

Roadmap (WP3)

Fase 1

Voorbereiding en Datagereedheid

Doelstellingen: Kennis opbouwen, regelgeving monitoren, productcategorieën identificeren

Activiteiten: Kennis opbouwen, regelgeving monitoren, productcategorieën identificeren

Technologieën: ERP-/productdatabases, QR-/NFC-identificaties

Beleidsactie nodig: Financiële ondersteuning voor pilots (subsidies, belastingvoordelen)

Fase 3

Innovatie van Circulaire Businessmodellen

Doelstellingen: Circulaire modellen opschalen met behulp van DPP-data

Activiteiten: Uitbreiden van refurbishing/lease/predictive maintenance, componentniveau-traceerbaarheid toevoegen, lifecycle-analyses, interoperabiliteit en automatisering

Technologieën: IoT-sensoren, microsensoren, API's, AI/ML-analyses, blockchain/DLT (waar eigendomsoverdracht centraal staat)

Beleidsactie nodig: Afstemmen op EU-circulaire doelstellingen (ondersteuning voor circulaire pilots)

Heden — 2 jaar — 4 jaar — 7 jaar — Toekomst

Fase 2

Operationele Efficiëntie

Doelstellingen: Levensvatbare businessmodellen identificeren, een MVP-paspoort opzetten

Activiteiten: Kansen definiëren (pilotprojecten voor reparatie en refurbishing), kritische dataclusters specificeren, MVP-attributen testen

Technologieën: QR-codes, basisdatakoppelingen, veilige partneruitwisseling

Beleidsactie nodig: Vereenvoudigen van compliance (sectorrichtlijnen, sandboxes)

Fase 4

Ecosysteemintegratie

Doelstellingen: MKB's positioneren in digitale circulaire waardeketens

Activiteiten: AI-gestuurde inzichten, marktintegratie met repair-/recyclerplatforms, wereldwijde harmonisatie, aansluiten bij sectorspecifieke dataspaces

Technologieën: AI-forecasting, blockchain/DLT, gestandaardiseerde schema's, Catena-X, CIRPASS-platforms

Beleidsactie nodig: Interoperabiliteit en vertrouwen bevorderen (open standaarden, intermediairs, financiering van consortia)

Uitwerking per type bedrijf: stappenplan voor implementatie en gebruik DPPs

Type bedrijf	Fase 1: Voorbereiding en datagereedheid	Fase 2: Operationele efficiëntie	Fase 3: Innovatie van circulaire businessmodellen	Fase 4: Ecosysteemintegratie
Producent van machines voor zware industrie	• Analyse van bestaande interfaces en softwareprotocollen • Kick-off projectgroep voor standaardisatie van interfaces	• Ontwikkeling van gestandaardiseerde API's voor data-uitwisseling • Eerste test met realtime data-uitwisseling tussen machines	• Volledige migratie naar gestandaardiseerde interfaces • Eliminatie van dubbele softwareontwikkeling	• Documentatie en training voor softwareteams • Monitoring van systeemstabiliteit en uptime
Producent van middelgrote machines voor de industrie	• Inventarisatie van onderdelen met hoge slijtage • Opzetten van preventief onderhoudsschema's • Training lokale monteurs voor basisreparaties	• Digitale registratie van onderhoudsactiviteiten • Start redesign-traject voor kritieke onderdelen	• Volledige uitrol van preventief onderhoudsprogramma • Implementatie van redesigned onderdelen in productie	• KPI's voor levensduurverlenging en onderhoudsefficiëntie • Evaluatie en bijstelling van onderhoudsstrategie
Producent van kleinere apparatuur	• Inventarisatie van herbruikbare onderdelen en machines. • Eerste test met lokaal reconditioneren van afgeschreven componenten.	• Selectie van duurzame materialen voor nieuwe productie. • Opzetten lokale werkplaats voor reconditionering.	• Structureel hergebruik van onderdelen in nieuwe producten. • Certificering van reconditioneringsproces.	• Rapportage over CO_2-besparing en materiaalreductie. • Voorbereiding op circulaire productontwikkeling.
Digital solution provider	• Selectie van sensoren en dataplatform voor levenscyclusmonitoring • Start pilot met data-gedreven servicepakket bij één productlijn	• Integratie van sensordata in dashboard voor lifecycle-analyse • Uitbreiding van servicepakket naar meerdere productlijnen	• Predictive maintenance op basis van verzamelde data • Klantgerichte dashboards voor service-inzicht	• Verankering van data-gedreven service in businessmodel • Continue verbetering via feedbackloops

Regieorgaan SIA

Hogeschool van Amsterdam

Meer informatie is te vinden via:

PLATE
Product Lifetimes
And The Environment

6th
Product
Lifetimes
and the
Environment
Conference
Aalborg University, Denmark,
2nd - 4th of July 2025

Accelerating Circularity in High-Tech Manufacturing: Towards a Roadmap for Implementing Digital Product Passports (DPPs) at SMEs

Kasper Lange, Jurjen Helmus, Diana Boermans, Inge Oskam
Amsterdam University of Applied Sciences, Amsterdam, The Netherlands

https://doi.org/10.54337/plate2025-10430

Resources, Conservation and Recycling

Supports open access

24.7
CiteScore

10.9
Impact Factor

Roadmap for Adoption of Digital Product Passports at SMEs in High-Tech Manufacturing

Diana D. Boermans [1] *, Kasper Lange [1], Jurjen Helmus [1], Inge Oskam[1]
[1]Amsterdam University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Rhijnspoorplein 2, 1091 GM, Amsterdam, the Netherlands

Ingediend: 30-11-2025

Contact

Kasper Lange

k.p.h.lange@hva.nl

Referenties

Ayed, A.-C. (2024). *CIRPASS-2 project*.

Bader, S. R., & Maleshkova, M. (2019). *The Semantic Asset Administration Shell* (pp. 159–174). https://doi.org/10.1007/978-3-030-33220-4_12

Bastein, T., Harmelen, T. van, Hauck, M., Godoi Bizarro, D., & Wieclawska, S. (2020). *De impact van slim èn circulair : hoe innovaties in de maakindustrie bijdragen aan een lagere footprint*.

Bocken, N. M. P., Schuit, C. S. C., & Kraaijenhagen, C. (2018). Experimenting with a circular business model: Lessons from eight cases. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *28*, 79–95. https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.02.001

Bocken, N. M. P., & Short, S. W. (2016). Towards a sufficiency-driven business model: Experiences and opportunities. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *18*, 41–61. https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.07.010

Böckin, D., Willskytt, S., André, H., Tillman, A. M., & Ljunggren Söderman, M. (2020). How product characteristics can guide measures for resource efficiency — A synthesis of assessment studies. *Resources, Conservation and Recycling*, *154*. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104582

OECD. (2019). *Business models for the circular economy : opportunities and challenges for policy*. OECD Publishing.

Buzeti, Z., & Daphne, T. (2025). *Digital Product Passports (DPPs) required by EU legislation across sectors: ESPR, toys, detergents, batteries, and more*. Circularise.Com.

Çetin, S., Raghu, D., Honic, M., Straub, A., & Gruis, V. (2023). Data requirements and availabilities for material passports: A digitally enabled framework for improving the circularity of existing buildings. *Sustainable Production and Consumption*, *40*, 422–437. https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.07.011

CLICKNL. (2020). *CIRCO*. Https://Www.Clicknl.Nl/En/Circo/.

Ecodesign for sustainable products and energy labelling working plan for 2025-2030. (2025). http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1799/oj

European Commission. (2020). *A new Circular Economy Action Plan*. https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/

FAST FACTS CONTENT GUIDANCE Battery Passport Content Guidance Achieving compliance with the EU Battery Regulation and increasing sustainability and circularity. (n.d.).

Fetting, C. (2020). *THE EUROPEAN GREEN DEAL*.

Götz, T. (2022). *Digital Product Passport: the ticket to achieving a climate neutral and circular European economy?*

Gunnarsson, K., & Mignot, N. (2023). *Adoption of the Digital Product Passport A qualitative study within SMEs in the Swedish furniture sector*.

Heeß, P., Rockstuhl, J., Körner, M. F., & Strüker, J. (2024). Enhancing trust in global supply chains: Conceptualizing Digital Product Passports for a low-carbon hydrogen market. *Electronic Markets*, *34*(1). https://doi.org/10.1007/s12525-024-00690-7

Hodapp, D., & Hanelt, A. (2022). Interoperability in the era of digital innovation: An information systems research agenda. In *Journal of Information Technology* (Vol. 37, Issue 4, pp. 407–427). SAGE Publications Ltd. https://doi.org/10.1177/02683962211064304

Jensen, S. F., Kristensen, J. H., Adamsen, S., Christensen, A., & Waehrens, B. V. (2023). Digital product passports for a circular economy: Data needs for product life cycle decision-making. *Sustainable Production and Consumption*, *37*, 242–255. https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.021

Kaanen, F. (2022). *Adviesroutekaart Transitieagenda Maakindustrie (2022)*.

Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecological Economics*, *150*, 264–272. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028

Kroke, T. (2023). *Relevance and practicability for companies*. www.iwkoeln.de

Lange, K., Helmus, J., Boermans, D., & Oskam, I. (2025). *Accelerating Circularity in High-Tech Manufacturing: Towards a Roadmap for Implementing Digital Product Passports (DPPs) at SMEs*.

Langley, D. J., Rosco, E., Angelopoulos, M., Kamminga, O., & Hooijer, C. (2023). Orchestrating a smart circular economy: Guiding principles for digital product passports. *Journal of Business Research*, *169*. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114259

Linder, M., & Williander, M. (2017). Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. *Business Strategy and the Environment*, *26*(2), 182–196. https://doi.org/10.1002/bse.1906

Lopes, C., & Barata, J. (2024). Digital Product Passport: A Review and Research Agenda. *Procedia Computer Science*, *246*(C), 981–990. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.517

Nokelainen, M., Tikkanen, S., Köykkä, S., Kieksi, L., Pulkkinen, A., Roschier, S., Markkula, A., Luoma, P., Jyrälä, M., & Bergman, L. (2024). *Digital Product Passport*.

Pohlmann, A., Popowicz, M., Schöggl, J. P., Bachler, J., Keler, J., & Baumgartner, R. J. (2024). Conceptualization of a digital product passport to enable circular and sustainable automotive value chains - The combustion engine use case. *Procedia CIRP*, *122*, 169–174. https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.025

Psarommatis, F., & May, G. (2024). Digital Product Passport: A Pathway to Circularity and Sustainability in Modern Manufacturing. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(1). https://doi.org/10.3390/su16010396

Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, *135*, 246–264. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027

Rietveld, E. (2022). *HET PRODUCTPASPOORT: BASISVOORWAARDE VOOR DUURZAME ECONOMIE*.

Schröder, A. J., Cuypers, M., & Götting, A. (2024). *From Industry 4.0 to Industry 5.0: The Triple Transition Digital, Green and Social* (pp. 35–51). https://doi.org/10.1007/978-3-031-35479-3_3

MacArthur, J., & MacArthur, C. (2010). *Resources for businesses looking to implement a circular economy business model*. Ellen MacArthur Foundation.

Virkkunen, O. (2024). *Promoting supply chain transparency and circularity with the EU Digital Product Passport Operations and Supply Chain Management*.

Voulgaridis, K., Lagkas, T., Angelopoulos, C. M., Boulogeorgos, A. A. A., Argyriou, V., & Sarigiannidis, P. (2024). Digital product passports as enablers of digital circular economy: a framework based on technological perspective. In *Telecommunication Systems* (Vol. 85, Issue 4, pp. 699–715). Springer. https://doi.org/10.1007/s11235-024-01104-x

Wicaksono, H., Mengistu, A., Bashyal, A., & Fekete, T. (2025). Digital Product Passport (DPP) technological advancement and adoption framework: A systematic literature review. *Procedia Computer Science*, *253*, 2980–2989. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.02.022