

# D1.1 SI10-WP1

## Praktisch aan de slag met standaarden voor industrie 4.0

Jaarrapportage

December 2025

### PROJECT DELIVERABLE

**Werkpakket: WP1**

**Version: 1.0**

**Auteurs: Joke Bruining, Jordi Recasens, Rick Hindriks, Robert Wilterdink, Sjoerd Rongen (TNO)**

## Inhoudsopgave

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Inhoudsopgave.....                                                            | 2  |
| 1 Inleiding.....                                                              | 4  |
| 1.1 Doelgroep en doel.....                                                    | 4  |
| 1.2 Definities .....                                                          | 5  |
| 1.3 Scope van het rapport .....                                               | 6  |
| 2 Standaarden: wat, waarom, wanneer en hoe? .....                             | 7  |
| 2.1 Wat is een standaard? .....                                               | 7  |
| 2.2 Waarom standaarden gebruiken? .....                                       | 8  |
| 2.3 Wanneer zijn standaarden geschikt? .....                                  | 9  |
| 2.4 Hoe gebruik je standaarden in de praktijk? .....                          | 9  |
| 2.5 Verdiepingsslag: praktische tips bij selectie (3) en afstemming (4) ..... | 10 |
| 2.6 Conclusie .....                                                           | 10 |
| 3 Veelvoorkomende Use Cases .....                                             | 11 |
| 3.1 UC1: IoT integratie .....                                                 | 13 |
| 3.2 UC2: Dashboarding en KPI berekening .....                                 | 16 |
| 3.3 UC3: Tool interoperabiliteit voor CAD/CAM.....                            | 19 |
| 3.4 UC4: MES/ERP integratie .....                                             | 22 |
| 3.5 UC5: Digital Product Passport .....                                       | 24 |
| 3.6 UC6: Recept-gedreven aansturing productielijn .....                       | 27 |
| 3.7 UC7: Autonome productie.....                                              | 30 |
| 4 Beschrijvingen per standaard.....                                           | 33 |
| 4.1 OPC Unified Architecture (OPC UA) .....                                   | 34 |
| 4.2 ISO 10303 (STEP) .....                                                    | 36 |
| 4.3 ISO 23247 .....                                                           | 38 |
| 4.4 ISA-88 .....                                                              | 40 |
| 4.5 AutomationML .....                                                        | 42 |
| 4.6 Asset Administration Shell (AAS).....                                     | 44 |
| 4.7 ISA-95 .....                                                              | 46 |
| 4.8 PackML.....                                                               | 48 |
| 4.9 G-code .....                                                              | 50 |
| 4.10 ISO 22400 .....                                                          | 52 |
| 4.11 CEN-CENELEC JTC24.....                                                   | 54 |
| 4.12 Unified Namespace (UNS).....                                             | 57 |
| 4.13 Sparkplug B .....                                                        | 60 |
| 4.14 ISO/IEC 81346 .....                                                      | 62 |

|      |                   |    |
|------|-------------------|----|
| 4.15 | MQTT.....         | 55 |
| 5    | Referenties ..... | 63 |

# 1 Inleiding

In een wereld waarin productie steeds slimmer, sneller en duurzamer moet, vormt digitalisering de sleutel tot succes. Klanten verwachten maatwerk, duurzaamheid en snelle levertijden. Tegelijkertijd kampen veel bedrijven met personeelstekorten en stijgende kosten. Digitalisering biedt antwoorden op deze uitdagingen, maar het brengt ook nieuwe complexiteit met zich mee. Hoe zorg je dat al je machines, software en processen goed met elkaar samenwerken? Om deze uitdaging aan te pakken, zijn er standaarden ontwikkeld. Standaarden zijn vaste afspraken over hoe machines en systemen met elkaar en met mensen kunnen communiceren.

Om de puzzel goed op te kunnen lossen heb je vaak meerdere standaarden nodig. Een standaard gebruiken is alleen geen doel op zich. Het is een middel om een groter doel te bereiken, vergelijkbaar met het maken van een puzzel. Een standaard is vaak een kleiner of groter puzzelstukje.



Dit rapport is geschreven in het kader van het NXTGEN HighTech Smart Industry Groeifonds project Capability Booster. In dit rapport worden de resultaten beschreven van het onderzoek naar internationale standaarden voor de maakindustrie. Met dit rapport wordt geprobeerd het bedrijfsleven te ondersteunen bij het sneller vinden van de voor hun relevante standaarden op basis van herkenbare use cases. De standaarden die in dit rapport worden beschreven zijn als relevant geïdentificeerd op basis van interviews met MKB bedrijven. Deze interviews zijn deels onder supervisie van TNO uitgevoerd door studenten van de Saxion Hogeschool. Tijdens het opstellen van dit rapport is gebruik gemaakt van generatieve AI ter ondersteuning van het schrijfproces. De uiteindelijke teksten in dit rapport zijn volledig afkomstig van de auteurs.

## 1.1 Doelgroep en doel

Dit rapport richt zich op MKB bedrijven in de maakindustrie die willen starten of volgende stappen willen zetten met digitalisering van de fabriek richting Industrie 4.0 en op zoek zijn naar hulp bij het kiezen van een juiste set van (internationale) standaarden met als doel:

- Snel en effectief stappen te kunnen zetten op basis van best practices van andere bedrijven.
- Een goede basis neer te zetten om later op voort te kunnen bouwen.
- Een lappendeken aan oplossingen voorkomen.
- Vendor lock-in en data silo's te voorkomen.

---

<sup>1</sup> Afbeelding van rawpixel.com op Freepik

## 1.2 Definities

### 1.2.1 Maakindustrie

De maakindustrie omvat de productie van goederen met behulp van arbeid, machines, gereedschappen en chemische of biologische verwerking. Het omvat een breed scala aan activiteiten, van de verwerking van grondstoffen tot de assemblage van complexe producten. De maakindustrie speelt een cruciale rol in de wereldeconomie door grondstoffen om te zetten in eindproducten die voldoen aan de behoeften van consumenten en industrieën. Deze sector wordt gekenmerkt door de nadruk op efficiëntie, kwaliteitscontrole en innovatie om aan de marktvraag te voldoen en concurrerend te blijven.

### 1.2.2 Industrie 4.0

Industrie 4.0 verwijst naar de integratie van geavanceerde technologieën om uiterst efficiënte, flexibele en responsieve productieprocessen, slimme producten, systemen en verbindingen binnen de waardeketen te realiseren. Deze benadering maakt netwerkgerichte en betrouwbare besluitvorming in real-time mogelijk, met een sterke focus op verhoogde productiviteit, wendbaarheid en een optimale inzet van mensen en middelen om toekomstbestendige aanpasbaarheid te waarborgen [1].

### 1.2.3 IT/OT

IT: Informatie technologie gaat over software, data en informatiesystemen, terwijl OT: Operationele Technologie zich richt op de apparaten en machines die productieprocessen aansturen in industriële bedrijven.

### 1.2.4 Standaarden

Standaarden zijn vaste afspraken over hoe systemen ingericht kunnen worden en/of met elkaar kunnen communiceren. Door het gebruik van deze standaarden kunnen bedrijven systemen eenvoudiger koppelen, data beter benutten en sneller inspelen op veranderingen.

### 1.2.5 Informatiemodel

Beschrijving van de structuur en betekenis van de informatieobjecten in een bepaald domein. Een informatiemodel beschrijft alleen de inhoud en structuur van een informatieobject, maar zegt niks over de fysieke vorm waarin de gegevens zijn vastgelegd.

### 1.2.6 Vendor Lock-in

Goede standaarden vertegenwoordigen een brede consensus. Het komt ook voor dat er standaarden worden gepubliceerd (bijvoorbeeld door een enkele leverancier) die niet breedgedragen zijn. Het gebruik van dergelijke standaarden kan leiden tot afhankelijkheid van bepaalde leveranciers, waardoor de onderhandelingspositie verzwakt wordt.

Dit fenomeen staat bekend als 'vendor lock-in', waarbij een organisatie zo afhankelijk wordt van een leverancier dat afscheid nemen of overstappen niet mogelijk is zonder grote (financiële) gevolgen. Organisaties kunnen dit risico beperken door te kiezen voor open standaarden die breed worden ondersteund, wat interoperabiliteit bevordert en overstappen eenvoudiger maakt. Open standaarden dragen ook bij aan meer concurrentie tussen leveranciers, wat een gezondere markt stimuleert en de afhankelijkheid van één partij vermindert [2].

### 1.2.7 Data Silo

Een data silo is een verzameling gegevens die door één groep wordt vastgehouden en die niet eenvoudig of volledig toegankelijk is voor andere groepen in dezelfde organisatie. Financiën, administratie, HR, marketingteams en andere afdelingen hebben verschillende informatie nodig

om hun werk te doen. Data silo's ontstaan vaak door het gebruik van allerlei softwaresystemen zonder achterliggende strategie voor het gebruik van de data in deze softwaresystemen. Een veel voorkomende situatie in fabrieken is een machine waar de meetgegevens wél toegankelijk zijn via een HMI, maar niet door externe systemen.

### 1.3 Scope van het rapport

Dit rapport bevat een overzicht van standaarden die helpen de informatiemodellen en processen te definiëren binnen een domein binnen de maakindustrie. Daarnaast gaan we aan de slag met de standaarden op basis van best practices.

Dit rapport heeft niet als doel om een uitputtende lijst van standaarden te bespreken. Om die reden zijn er ook geen standaarden opgenomen die breder dan de maakindustrie ingezet kunnen worden (bijv. ISO 9001).

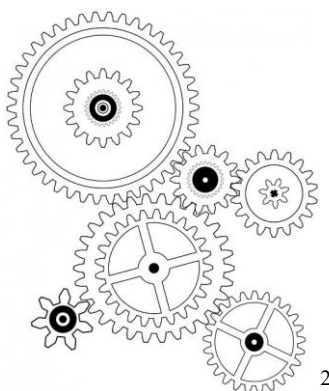
Dit rapport biedt geen kant- en klaar implementatieplan per standaard, in plaats daarvan wordt het gebruik van standaarden geëxploreerd aan de hand van een aantal use cases. Als lezer dien je zelf bedenken of/hoe de use cases en standaarden aansluiten bij systemen welke al geïmplementeerd zijn in de organisatie.

## 2 Standaarden: wat, waarom, wanneer en hoe?

Standaarden vormen de fundamenteën van effectieve en efficiënte digitalisering binnen de industriële automatisering en maakindustrie. In een tijdperk waarin Industrie 4.0 centraal staat, is het toepassen van passende IT- en OT-standaarden cruciaal om naadloze integratie en optimale samenwerking tussen diverse technologieën mogelijk te maken. Dit hoofdstuk biedt inzicht in wat standaarden zijn, waarom ze belangrijk zijn, wanneer ze het best ingezet kunnen worden en hoe bedrijven standaarden praktisch kunnen toepassen.

### 2.1 Wat is een standaard?

Een standaard is een formeel overeengekomen richtlijn of afspraak die duidelijkheid schept over technische specificaties, methoden, processen of protocollen en geaccepteerde terminologie. Standaarden zorgen ervoor dat systemen en componenten van verschillende leveranciers en generaties effectief met elkaar kunnen communiceren en samenwerken. Door afspraken te maken over dataformaten, informatiemodellen, communicatieprotocollen en technische vereisten kunnen organisaties systemen gemakkelijker integreren en onderhouden.



Voorbeelden van standaarden binnen de maakindustrie zijn OPC-UA voor communicatie tussen systemen en ISA-95 voor het structureren van productieprocessen. Deze standaarden helpen bedrijven om data te benutten en integraties eenvoudiger te maken, waardoor een soepel en efficiënt productieproces mogelijk wordt.

Over het algemeen hebben standaarden de volgende eigenschappen:

**Gemeenschappelijke domeintaal:** Ze bieden een gedeelde taal voor effectieve communicatie tussen betrokken partijen. Dit zorgt ervoor dat iedereen dezelfde termen en definities gebruikt, wat misverstanden voorkomt en samenwerking eenvoudiger maakt.

**Duidelijk doel en betekenis:** Een standaard heeft een specifiek en helder omschreven toepassingsdoel, zodat direct duidelijk is waarvoor deze bedoeld is. Daarnaast hebben standaarden als doel ervoor te zorgen dat afspraken en richtlijnen slechts op één manier uitgelegd kunnen worden. Door deze afbakening en heldere definities zijn standaarden

---

<sup>2</sup> Afbeelding van PublicDomainPictures via Pixabay

eenduidig interpreteerbaar, wat misverstanden voorkomt en zorgt voor consistente toepassing binnen en tussen organisaties.

**Verzameling van domeinkennis en ervaring:** Standaarden worden opgesteld door domeinexperts met jarenlange ervaring. Zij hebben geleerd hoe je complexe vraagstukken logisch en beheersbaar kunt opsplitsen. Deze opgebouwde kennis wordt vastgelegd in de standaard, zodat ook toekomstige implementaties van deze beproefde aanpak kunnen profiteren en daarmee tijd en moeite besparen.

**Herbruikbare informatiemodellen:** Standaarden bevatten vaak informatiemodellen — vaste structuren die aangeven hoe informatie moet worden opgebouwd en uitgewisseld. Denk bijvoorbeeld aan een model voor het vastleggen van machinegegevens of productinformatie. Doordat deze modellen herbruikbaar zijn, kunnen systemen sneller gekoppeld worden en hoeft niet telkens opnieuw bedacht te worden hoe informatie gestructureerd moet worden.

**Eenduidige interfaces en protocollen:** Standaarden definiëren vaak hoe systemen met elkaar moeten communiceren, via afgesproken interfaces en protocollen. Denk aan regels voor datatransport of berichtenformaten tussen machines, applicaties of cloud services. Dankzij deze eenduidige afspraken kunnen systemen eenvoudiger worden geïntegreerd, ongeacht leverancier of technologie.

**Actieve gebruikersgemeenschappen:** Achter veel standaarden staan actieve gemeenschappen van bedrijven, ontwikkelaars en gebruikers die hun kennis en praktijkervaring delen. Zij zorgen samen voor het onderhoud, de doorontwikkeling en bredere adoptie van de standaard. Dit gezamenlijke eigenaarschap vergroot de kwaliteit, relevantie en continuïteit van de standaard in de praktijk.

**Open en vrij toegankelijk:** De meeste standaarden zijn publiek beschikbaar, wat betekent dat ze zonder licentiekosten of beperkingen op gebruik toegepast mogen worden. Ze zijn doorgaans voor iedereen toegankelijk, al is toegang tot de officiële documentatie soms niet gratis. Open en vrij toegankelijke standaarden maken het eenvoudiger om technologie, oplossingen of producten in de praktijk toe te passen en stimuleren daarmee een brede adoptie. Door deze openheid ontstaat er een inclusieve en brede ondersteuning binnen de industrie, variërend van kleine bedrijven tot grote multinationals.

## 2.2 Waarom standaarden gebruiken?

De bovenstaande eigenschappen zorgen ervoor dat standaarden belangrijke voordelen bieden. Het grootste voordeel is dat organisaties niet steeds het wiel opnieuw hoeven uit te vinden. Standaarden bieden bewezen, herbruikbare oplossingen die gebaseerd zijn op best practices en vaak ondersteund worden door actieve gebruikersgemeenschappen. Dit leidt onder andere tot:

- **Efficiëntere samenwerking:** Standaarden zorgen voor een gemeenschappelijke taal, wat misverstanden tussen afdelingen en partners voorkomt.
- **Lagere inspanning en kosten:** Doordat je minder aandacht hoeft te besteden aan implementatiedetails, kun je focussen op het daadwerkelijk oplossen van je kernprobleem.
- **Duidelijkheid over scope:** Met standaarden is sneller duidelijk welke aanpak het beste aansluit bij specifieke uitdagingen.
- **Betere beveiliging:** Standaarden bieden over het algemeen richtlijnen en methodes om data-integriteit en bescherming tegen cyberrisico's te waarborgen.

- **Meer grip op complexiteit:** Standaarden bieden een invalshoek op complexe problematiek. Doordat ze gebaseerd zijn op jarenlange ervaring, worden de hoeveelheid keuzes beperkt.
- **Toekomstbestendigheid:** Door standaarden toe te passen, kunnen bedrijven makkelijker en sneller zich aanpassen aan technologische- en marktontwikkelingen. Hierdoor kunnen bedrijven blijven meegroeien.

## 2.3 Wanneer zijn standaarden geschikt?

Niet elke standaard is geschikt voor elk bedrijf of elke situatie. De volgende vier criteria helpen bepalen of een standaard past binnen jouw digitaliseringsstrategie:

**Open en Interoperabel:** De standaard maakt het mogelijk om apparaten, systemen en software van verschillende leveranciers met elkaar te laten communiceren. Dit is cruciaal voor de integratie van IT (informatiesystemen) en OT (productieapparatuur).

**Schaalbaar:** Een goede standaard werkt voor zowel kleine als grote bedrijven. Ze moet eenvoudig geïmplementeerd kunnen worden, maar ook meegroeien met je organisatie.

**Veilig en betrouwbaar:** In een digitale fabriek draait alles om data. Standaarden moeten veilige communicatie mogelijk maken, met encryptie, authenticatie en monitoring.

**Toekomstbestendig:** De wereld verandert snel. Een standaard moet ruimte bieden voor innovatie, bijvoorbeeld voor ondersteuning van AI, cloud computing of nieuwe industriële protocollen.

## 2.4 Hoe gebruik je standaarden in de praktijk?

Het succesvol implementeren van standaarden in een organisatie vereist een gestructureerde aanpak:

- 1) **Analyse van de huidige situatie (IST-analyse):** Begin met het in kaart brengen van de bestaande systemen, processen en interfaces. Welke standaarden zijn al in gebruik? Waar zitten knelpunten of inefficiënties? Deze analyse vormt de basis voor het identificeren van verbeterkansen en noodzakelijke wijzigingen.
- 2) **Analyse van behoeften:** Breng in kaart welke bedrijfsdoelen en digitaliseringsambities er zijn. Welke processen vragen om verbetering, en waar kan standaardisatie waarde toevoegen?
- 3) **Selectie van standaarden:** Kies, op basis van de behoeften en context, de standaarden die het best aansluiten. Let hierbij op criteria als interoperabiliteit, beveiliging, schaalbaarheid en toekomstbestendigheid. Ervaringen van andere bedrijven en best practices kunnen hierbij richting geven.
- 4) **Afstemming met partners en leveranciers:** Betrek partners, leveranciers en andere ketenpartijen bij de gekozen standaardisatieaanpak. Dit is belangrijk om compatibiliteit te garanderen, wederzijdse verwachtingen uit te spreken en samenwerking te stimuleren. Zeker bij integraties of data-uitwisseling is het essentieel dat alle betrokkenen op dezelfde lijn zitten.
- 5) **Opstellen van een implementatieplan:** Werk een concreet plan uit waarin staat hoe en waar de gekozen standaarden worden toegepast. Houd rekening met technische afhankelijkheden, veranderimpact en benodigde middelen. Start bij voorkeur kleinschalig of in fases, zodat lessen uit vroege implementaties meegenomen kunnen worden in volgende stappen.
- 6) **Uitvoering en training:** Implementeer de standaarden stapsgewijs en zorg voor betrokkenheid van medewerkers. Opleiding en bewustwording zijn essentieel om standaarden ook daadwerkelijk goed toe te passen in de dagelijkse praktijk.

- 7) **Evaluatie en optimalisatie:** Monitor het gebruik en de effecten van de standaarden. Zijn de doelstellingen behaald? Zijn er aanvullende maatregelen nodig? Door periodiek te evalueren, kunnen standaarden blijvend waarde opleveren.

## 2.5 Verdiepingsslag: praktische tips bij selectie (3) en afstemming (4)

Het selecteren van de juiste standaarden en het afstemmen ervan met partners en leveranciers is geen dagelijkse bezigheid voor de meeste organisaties. Toch is dit een cruciale stap om tot een werkbare en toekomstbestendige oplossing te komen. De onderstaande aandachtspunten helpen om dit proces gestructureerd en beheersbaar aan te pakken:

**Werk modulair:** Kies standaarden die je stapsgewijs kunt implementeren. Zo kun je klein beginnen, ervaring opdoen en later eenvoudig uitbreiden zonder alles te moeten herzien.

**Gebruik erkende referentiearchitecturen:** Modellen zoals ISA-95 helpen om inzicht te krijgen op welk niveau van je organisatie – bijvoorbeeld machine, lijn, fabriek, netwerk of enterprise – een standaard van toepassing is. Daarnaast bestaan er ook referentiearchitecturen die specifiek gericht zijn op implementatie in stappen, zoals de Industrie 4.0 Maturity Index of de Asset Administration Shell use cases. Zulke modellen helpen om standaarden gecontroleerd en doelgericht in te voeren.

**Kies voor open en bewezen standaarden:** Voorkom afhankelijkheid van specifieke leveranciers (vendor lock-in) door te kiezen voor open standaarden die breed worden ondersteund in de industrie, zoals OPC UA, MQTT of de Asset Administration Shell.

**Werk samen met leveranciers en partners:** Betrek je technologiepartners actief in je standaardisatiekeuzes. Goede leveranciers denken mee, bieden ondersteuning en kunnen hun systemen configureren om aan te sluiten op de gekozen standaarden.

**Maak gebruik van communities:** Veel standaarden worden ondersteund door internationale gebruikersgroepen en forums. Deze communities zijn waardevolle bronnen van documentatie, praktijkervaring en antwoorden op technische vragen.

## 2.6 Conclusie

Standaarden zijn de onzichtbare fundamenten onder een digitale fabriek. Ze maken complexe integraties beheersbaar, verhogen de veiligheid en zorgen voor meer flexibiliteit en toekomstbestendigheid van productieprocessen. Door slim gebruik te maken van standaarden kunnen ook kleine en middelgrote bedrijven profiteren van de voordelen van digitalisering en Industrie 4.0, zonder te verdwalen in technische complexiteit. Begin klein, kies bewust, en bouw gestaag aan een toekomstbestendige fabriek. Zo ben je klaar voor de uitdagingen én kansen van morgen.

### 3 Veelvoorkomende Use Cases

Zoals in het vorige hoofdstuk beschreven, zijn standaarden geen doel op zich maar een middel om waarde te realiseren. Om te helpen bepalen waar je het beste kunt starten binnen jouw productieomgeving, hebben we zeven veelvoorkomende use cases geselecteerd die als inspiratie of richtlijn kunnen dienen.

Deze use cases hebben grofweg een toenemende complexiteit. Dit betekent dat de use cases bovenaan de lijst vooral de basis leggen en geschikt zijn voor fabrieken die de eerste stappen aan het zetten zijn op het gebied van digitalisatie. De use cases onderaan de lijst bouwen in veel gevallen voort op de voorgaande use cases en vereisen een hoge mate van digitale volwassenheid, maar kunnen ook zeker dienen ter inspiratie.

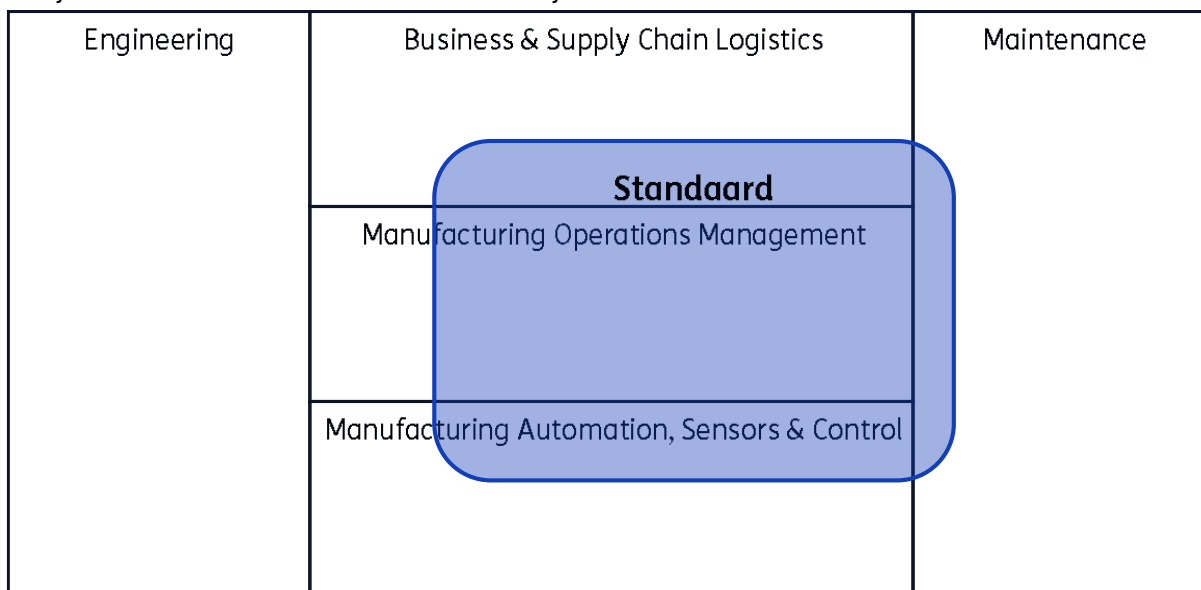
| Id   | Use Case                                 | OPC UA | PackML | Sparkplug B | AutomationML | ISO 10303 (STEP) | G-code | ISO 22400 | ISA 95 | JTC24 | AAS | ISA 88 | ISO 23247 | Unified Namespace |
|------|------------------------------------------|--------|--------|-------------|--------------|------------------|--------|-----------|--------|-------|-----|--------|-----------|-------------------|
| UC 1 | IoT integratie                           | X      | X      | X           |              |                  |        |           |        |       | X   |        |           | X                 |
| UC 2 | Dashboarding & KPI berekening            |        | X      |             |              |                  |        | X         | X      |       |     | X      |           | X                 |
| UC 3 | Tool interoperabiliteit voor CAD/CAM     |        |        |             | X            | X                | X      |           |        |       | X   |        |           |                   |
| UC 4 | MES/ERP integratie                       |        |        |             | X            |                  |        |           | X      |       |     |        |           |                   |
| UC 5 | Digital Product Passport                 |        |        |             |              |                  |        |           |        | X*    | X   |        |           |                   |
| UC 6 | Recept-gedreven aansturing productielijn | X      |        |             | X            |                  |        |           | X      |       |     | X      |           |                   |
| UC 7 | Autonome productie                       | X      |        |             | X            |                  |        |           | X      |       | X   |        | X         | X                 |

\*) Op dit moment nog geen gepubliceerde standaard beschikbaar. Zie beschrijving use case voor meer info.

Per use case zullen de volgende eigenschappen worden besproken:

- **Omschrijving:** Een beknopte omschrijving van de use case, eventueel met verwijzingen naar gerelateerde use cases.
- **Bedrijfsdoelen:** Een opsomming van de doelen waar deze use case aan bijdraagt. Ofwel wat is de waarde van deze use case in termen van potentiële bedrijfsdoelen?
- **Variaties:** Welke andere use cases zijn sterk gerelateerd aan deze use case of zijn bekend onder een andere naam?
- **Relevante standaarden:** Zoals benoemd in het vorige hoofdstuk, draagt elke standaard bij aan het oplossen van een deel van de digitaliseringspuzzel. Het is belangrijk om te bepalen welke combinatie van deze relevante standaarden jou helpt om de doelen van jouw specifieke use case te bereiken. Elke standaard heeft zijn eigen toepassingsgebied en voordelen, en het is aan jou om te beoordelen welke standaarden voor jouw situatie het meest nuttig zijn. Om dit te visualiseren wordt een overzichtsdiagram gemaakt, zoals weergegeven in Figuur 1. Deze

plaat toont het toepassingsgebied van elke standaard en laat zien hoe deze elkaar overlappen. Hierdoor krijg je een duidelijker beeld hoe verschillende standaarden in verschillende delen van jouw fabriek samen kunnen werken om jouw doelen te realiseren.



*Figuur 1 – Template voor het maken van een overzicht van standaarden per functioneel domein (gebaseerd op [3]).*

- **Aandachtspunten en best practices:** Aandachtspunten en praktijkervaringen die richting kunnen geven bij de toepassing van de use case. Biedt inspiratie voor een doordachte aanpak, maar vormt geen uitputtend overzicht.

### 3.1 UC1: IoT integratie

#### 3.1.1 Omschrijving

Deze use case heeft als doel om data uit uiteenlopende industriële apparaten en systemen te verzamelen en te ontsluiten, om zo waardevolle inzichten en geavanceerde automatisering te realiseren. Een voorbeeld hiervan is het berekenen van de *Operational Equipment Effectiveness* (OEE) op basis van productie- en machinedata. Digitalisering van je fabriek vergt het verbinden van zowel oude als nieuwe systemen, terwijl er tegelijkertijd steeds meer soorten systemen en interfaces bij komen.

Om verregaande automatisering en analyses mogelijk te maken, moeten deze apparaten met elkaar communiceren en geïntegreerd worden met orkestrerende systemen. Vaak wordt dit bemoeilijkt doordat de systemen afkomstig zijn van diverse leveranciers en elk hun eigen interface hebben. Daarnaast zijn deze interfaces niet per definitie (standaard) beschikbaar. Deze use case richt zich daarom op het uniform beschikbaar maken van fabrieksdata in een (centraal) IoT-platform, zodat informatie eenvoudig gebruikt kan worden.

Om de integratie tussen apparaten en het platform efficiënt te kunnen realiseren, is het essentieel dat data-uitwisseling gebaseerd is op (inter)nationale standaarden en dat er consistente, veilige interfaces aanwezig zijn. Daarnaast is een duidelijke datadefinitie vereist, zodat metadata en variabelen eenduidig worden herkend en beheerd. Hierdoor kunnen nieuwe apparaten eenvoudiger worden toegevoegd, kunnen gegevens op consistente wijze worden verwerkt en ontstaan er meer mogelijkheden voor geavanceerde analyses en sturing binnen de industriële omgeving.

Deze use case dient vaak als basis waarop andere use cases voortbouwen die de verzamelde gegevens benutten. Voorbeelden van dergelijke use cases zijn *real-time dashboarding*, *predictief onderhoud* en het inzetten van kunstmatige intelligentie voor procesoptimalisatie. Door een solide en gestandaardiseerde basis voor data en sturing kunnen nieuwe technologieën en analytische modellen eenvoudig worden geïntegreerd. Zo wordt niet alleen de productie-efficiëntie verhoogd, maar kunnen organisaties ook sneller innoveren en processen optimaliseren.

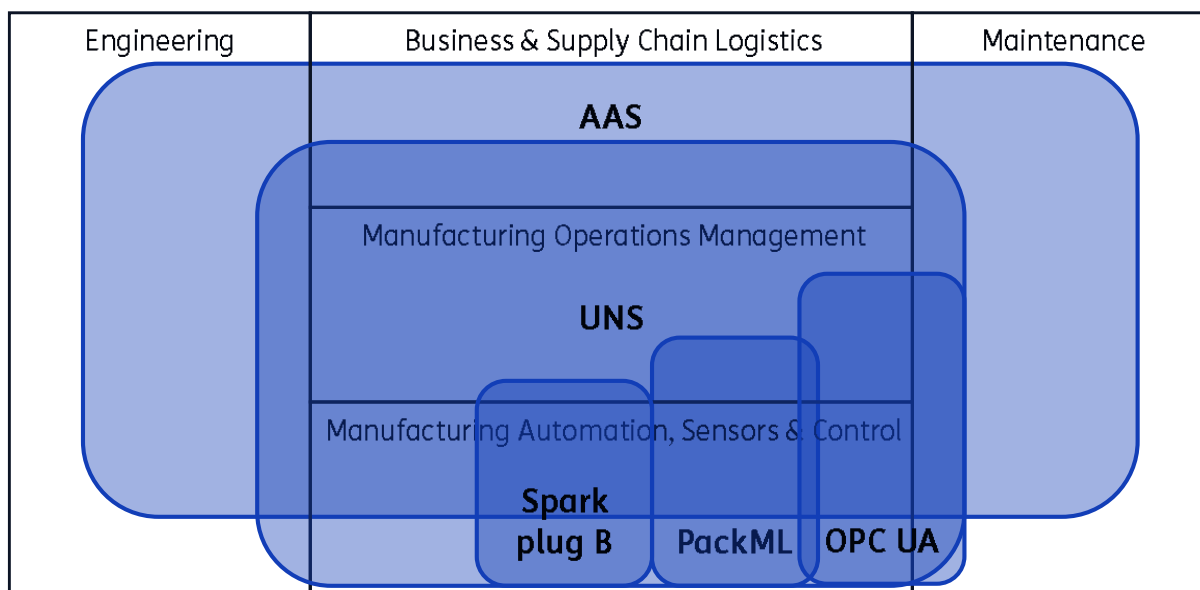
#### 3.1.2 Bedrijfsdoelen

- **Toegang tot real-time fabrieksdata:** Continu inzicht verkrijgen in proces- en machinegegevens uit verschillende bronnen.
- **Data-gedreven besluitvorming:** Betrouwbare en uniforme data beschikbaar maken als fundament voor operationele en strategische beslissingen.
- **Versnellen van digitale transformatie:** Een flexibele en schaalbare basis creëren voor data-gedreven innovatie en automatisering.
- **Vorbereiden op AI:** Een gestandaardiseerde en gestructureerde data-laag creëren die noodzakelijk is voor het trainen en inzetten van algoritmes voor kunstmatige intelligentie.

#### 3.1.3 Variaties

- **Shop floor connectivity:** Het ontsluiten van machines op de fabrieksvloer.
- **Data aggregatie:** Het structureel verzamelen van productie- en business gegevens.
- **Industrial IoT:** Technologie voor het verbinden van systemen in industriële toepassingen.
- **Digitale Fabriek:** Kapstokbegrip voor alles wat met het digitaliseren van fabrieken te maken heeft.
- **Dashboarding (UC2):** Inzicht in de productie d.m.v. het visualiseren van gegevens uit de fabriek.

### 3.1.4 Relevante standaarden



Figuur 2 - Relevante standaarden voor IoT integratie

**OPC UA:** Een gestandaardiseerd, platformonafhankelijk communicatieprotocol dat industriële data veilig uitwisselt. Het bevat een expliciet datamodel dat de structuur en semantiek van data definieert, waardoor Internet-of-Things tools de gegevens eenduidig kunnen opvragen.

**PackML:** Standaardiseert machinetoestanden en data interfaces. Door uniforme benamingen, processtaten en procesmodi te definiëren, kunnen gegevens consistent worden uitgewisseld.

**AAS:** De Asset Administration Shell is een gestandaardiseerde digitale representatie van een asset, zoals een apparaat, component of product, waarin relevante data, eigenschappen en metadata worden vastgelegd. Dit vereenvoudigt IoT-integratie doordat systemen eenduidig kunnen communiceren en gegevens automatisch kunnen ontdekken, koppelen en uitlezen.

**Unified Namespaces:** Een Unified Namespace is een centraal datamodel waarin gegevens uit zowel OT-systemen (zoals machines, sensoren en SCADA) als IT-systemen (zoals MES en ERP) op één (virtuele) plek worden gepubliceerd. Door data in een consistente structuur te presenteren, ondersteunt het realtime integratie en standaardisering en kunnen OT- en MES/ERP-integraties via dezelfde informatielaag verlopen, wat de implementatie van IoT- en Industrie 4.0-oplossingen vereenvoudigt.

**Sparkplug B:** Biedt een gestandaardiseerd datamodel en stateful communicatie bovenop MQTT, waardoor industriële apparaten op een uniforme en schaalbare manier data kunnen publiceren naar IoT-platforms.

### 3.1.5 Aandachtspunten en best practices

Toegang krijgen tot de data van een machine is niet triviaal. Zorg dus voordat je begint dat je weet op welke wijze je bij de data van de machines kan komen die je wilt ontsluiten. Veel machines beschikken inmiddels over een digitale interface, zoals OPC UA, MQTT of Sparkplug B. In sommige

gevallen is er een (extra) licentie of een software update voor nodig om deze interfaces te ontsluiten.

Sla niet alleen de ruwe data op, maar ook semantische modellen en relevante metadata. Op die manier blijft de context van de data behouden (betekent deze '4' een PackML toestand van machine A, of de temperatuur in graden Celsius in de productiehal?). Dit vergemakkelijkt gerichte analyses en besluitvorming.

Maak vanaf het begin gebruik van beveiligde verbindingen om te voorkomen dat ongeautoriseerde partijen bedrijfskritische data onderscheppen of systemen manipuleren. Voeg je beveiliging pas in een later stadium toe, dan neemt de kans op kwetsbaarheden toe, en loop je het risico dat inbedrijfgestelde machines moeten worden stilgelegd voor de benodigde aanpassingen.

## 3.2 UC2: Dashboarding en KPI berekening

### 3.2.1 Omschrijving

Deze use case richt zich op het real-time inzichtelijk maken van productie- en procesgegevens, met als doel belangrijke prestatie-indicatoren (KPI's) te monitoren en bij te sturen. Door gebruik te maken van gestandaardiseerde interfaces en informatiemodellen ontstaat één uniform, vergelijkbaar kader voor het berekenen van KPI's, zonder afhankelijk te zijn van merkspecifieke formaten. Hierdoor kunnen dashboards worden opgebouwd die informatie altijd consistent en eenduidig weergeven, zodat operators en besluitvormers kunnen vertrouwen op uniforme gegevens bij het analyseren en bijsturen van processen. Dankzij de gestandaardiseerde informatiemodellen kunnen nieuwe meetpunten, machines en systemen vaak zonder maatwerk worden geïntegreerd. Bovendien vormen deze modellen een solide basis voor schaalbare en toekomstbestendige uitbreidingen.

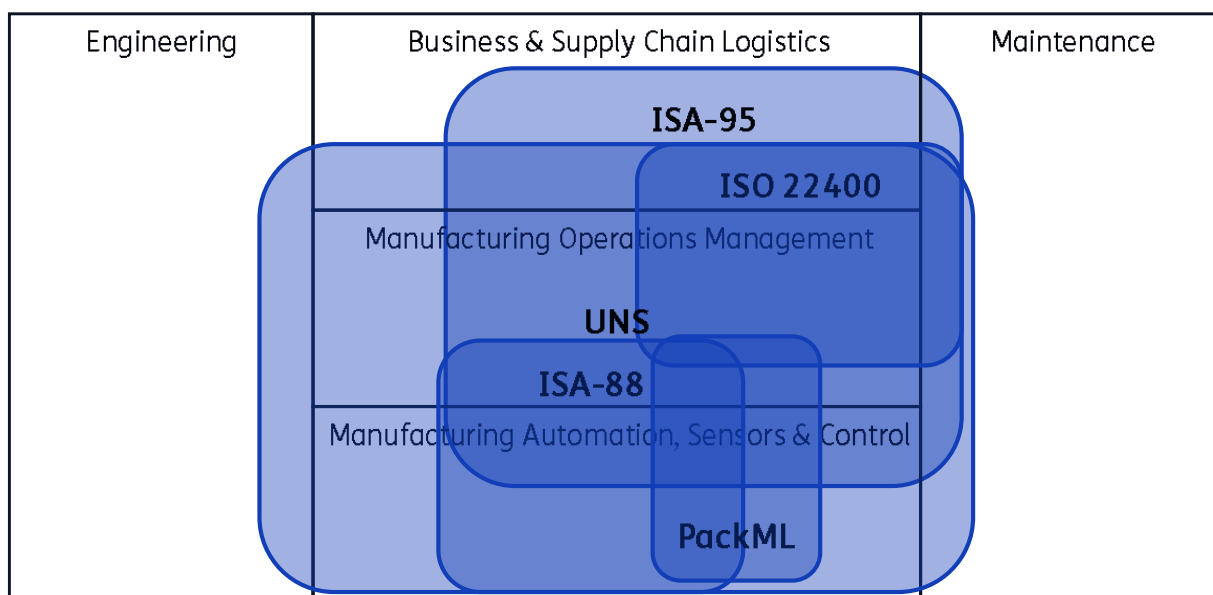
### 3.2.2 Bedrijfsdoelen

- **Inzicht in prestaties:** Continu zicht op productie- en procesprestaties via real-time visualisaties.
- **Snellere besluitvorming:** Direct reageren op afwijkingen of trends op basis van actuele gegevens.
- **Procesoptimalisatie:** Identificeren van knelpunten en verbeterkansen op basis van KPI-analyse.
- **Transparantie en verantwoording:** Eenduidige rapportage richting management of externe stakeholders.
- **Data-gestuurd werken stimuleren:** Besluitvorming en verbeteracties baseren op objectieve en betrouwbare informatie.

### 3.2.3 Variaties

- **Notificaties & Alarmering:** Real-time signaleren van gebeurtenissen op de werkvloer.
- **Performance monitoring, OEE-monitoring:** Het berekenen en monitoren van performance, kwaliteit en beschikbaarheid van de productie.
- **Condition Monitoring:** Staat van machines bijhouden op basis van data. Vroeg inspelen op degradatie.
- **Operational Intelligence:** Het benutten van informatie van de werkvloer voor het maken van optimalere keuzes in de business.
- **IoT integratie (UC 1):** data uit uiteenlopende industriële apparaten en systemen te verzamelen en te ontsluiten.

### 3.2.4 Relevante standaarden



**PackML:** Zorgt voor een uniforme set status- en gebeurtenisdefinities voor machines, waardoor prestatiegegevens zoals cyclustijden, stilstand en storingen consistent kunnen worden vastgelegd. Hierdoor kunnen KPI's zoals beschikbaarheid en doorlooptijd eenduidig worden berekend en vergeleken over verschillende machines en lijnen heen.

**ISO-22400:** Definieert gestandaardiseerde productiekenmerken en KPI's, zoals OEE, beschikbaarheid en kwaliteit, waardoor uniforme prestatie-evaluatie mogelijk wordt. Dit maakt het eenvoudiger om gegevens uit verschillende systemen te vergelijken en betrouwbaar te visualiseren in dashboards.

**ISA-88:** Biedt een gestandaardiseerd model voor de structurering van batchprocessen, inclusief fasen, stappen en recepten. Hierdoor kan procesdata consistent worden vastgelegd en geanalyseerd, wat de berekening van KPI's en het opbouwen van overzichtelijke dashboards ondersteunt.

**ISA-95:** Definieert concepten voor de integratie tussen bedrijfs- en productiesystemen, inclusief datamodellen voor productie, materiaal, personeel en apparatuur. Deze standaarden kunnen ook worden gebruikt om data te verrijken met context (voor visualisatie naar de operator) en aanvullende variabelen die nodig zijn voor een accurate berekening en interpretatie van KPI's.

**Unified Namespace (UNS):** Biedt een centrale, real-time datastructuur waarin industriële informatie uit zowel OT-bronnen (machines, sensoren, SCADA) als IT-systemen (MES en ERP) hiërarchisch en consistent wordt gepubliceerd. Dit creëert één consistente bron voor dashboards en KPI-berekeningen, doordat gegevens uit verschillende systemen eenvoudiger te vinden, te combineren en te gebruiken zijn.

### 3.2.5 Aandachtspunten en best practices

Bepaal de scope van machines en sensoren die je wilt opnemen in je dashboard. De best practice is hier om klein te beginnen, bijvoorbeeld een enkele machine of productielijn. Vaak moet je eerst wat ervaring opdoen met het gebruiken van deze dashboards, om beter inzicht te krijgen in wat je echt nodig hebt.

Zorg dat de brondata betrouwbaar, tijdig en eenduidig gedefinieerd is. Het is essentieel om binnen het hele bedrijf consistente definities te hanteren. Standaarden kunnen daarbij als leidraad dienen, doordat ze uniforme terminologie, consistente informatiemodellen en breed gedragen afspraken bieden voor specifieke machine-types of binnen een bepaalde sector.

Implementeer controles om onjuiste of ontbrekende data te detecteren vóór de berekening van KPI's. Voer validaties uit op binnenkomende data, zoals bereikcontroles, timestamps en verplichte velden, om te voorkomen dat foutieve waarden leiden tot misleidende dashboards of verkeerde conclusies. Overweeg markeringen (bijv. 'data incompleet') om de betrouwbaarheid van je KPI's transparant te houden voor eindgebruikers.

Te veel data op één dashboard leidt tot verwarring. Door een dashboard per gebruiker of rol te maken, kun je alleen die data tonen die voor die rol van toepassing is. Zo kan een operator van een machine direct zien wat de huidige operationele waarden zijn van een machine en kan een planner direct inzicht krijgen in de productietijden van de huidige batch.

### 3.3 UC3: Tool interoperabiliteit voor CAD/CAM

#### 3.3.1 Omschrijving

In de maakindustrie is een soepele samenwerking tussen CAD- (Computer-Aided Design) en CAM- (Computer-Aided Manufacturing) systemen essentieel voor een efficiënte en foutloze productieketen. Deze use case belicht de noodzaak om ontwerpdata vanuit CAD-systemen eenduidig en zonder informatieverlies over te dragen aan CAM-oplossingen, zodat bijvoorbeeld bewerkingen voor CNC-machines nauwkeurig en automatisch gegenereerd kunnen worden. Door gebruik te maken van open en gestandaardiseerde bestandsformaten wordt de uitwisseling van data tussen tools van verschillende leveranciers mogelijk. Dit verhoogt de consistentie, vermindert menselijke fouten en verkort de doorlooptijd van ontwerp tot productie. Daarnaast bevordert het de samenwerking binnen en tussen bedrijven, doordat dezelfde data herbruikbaar blijft in diverse systemen en processtappen. De focus ligt op het vergroten van interoperabiliteit via internationale standaarden, met aandacht voor herbruikbaarheid, schaalbaarheid en toekomstbestendigheid van digitale productiedata.

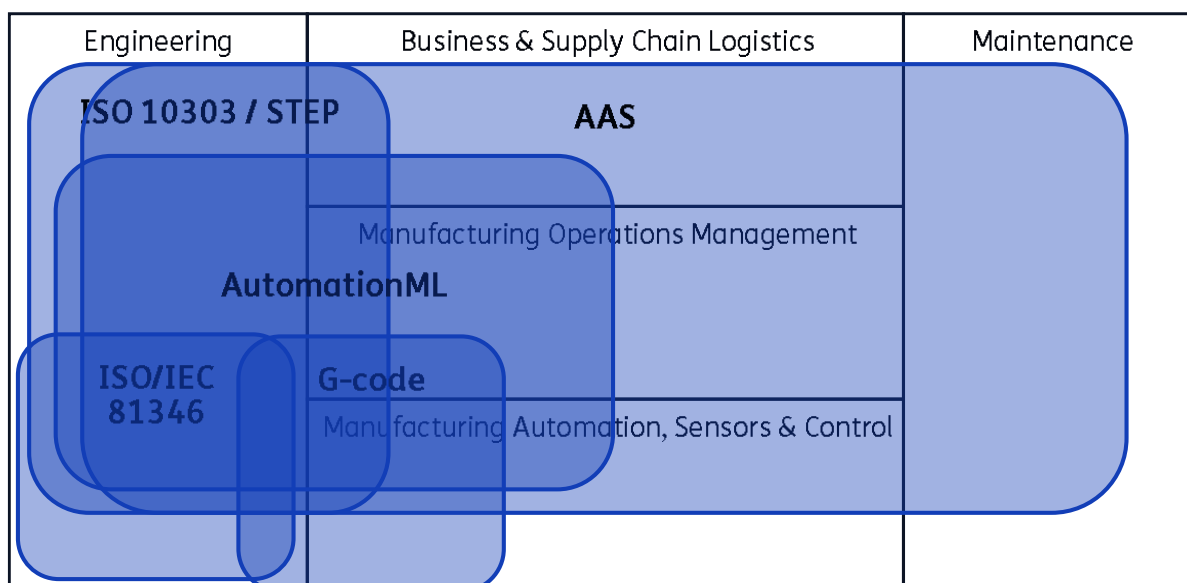
#### 3.3.2 Bedrijfsdoelen

- **Efficiëntie verhogen:** Naadloze data-overdracht tussen CAD- en CAM-systemen vermindert handmatige (foutgevoelige) handelingen.
- **Foutreductie realiseren:** Consistente en gestandaardiseerde data-uitwisseling voorkomt interpretatiefouten en vermindert het risico op productiefouten.
- **Schaalbaarheid ondersteunen:** Interoperabiliteit maakt het eenvoudiger om nieuwe machines, tools en systemen in te passen in bestaande processen naarmate het bedrijf groeit.
- **Kosten verlagen:** Efficiëntere workflows en foutreductie leidt tot lagere operationele kosten en minder verspilling van middelen.
- **Time-to-market verkorten:** Snellere overdracht van ontwerp naar productie verkort de ontwikkelcyclus van producten.
- **Toekomstbestendigheid waarborgen:** Het gebruik van internationale standaarden zorgt voor flexibiliteit richting nieuwe technologieën en systeemintegraties in de toekomst.

#### 3.3.3 Variaties

- **Geautomatiseerde NC-programmering:** Het automatisch genereren van instructies voor NC systemen vanuit CAD-tooling.
- **Soepele overdracht van Engineering naar Productie:** Tijd tussen engineering en productie van product verkorten.
- **CAD-neutral data exchange:** Werken met meerdere CAD-pakketten mogelijk maken.
- **Multi-vendor toolchain integratie:** Mogelijk maken van het gebruiken van tooling van verschillende leveranciers d.m.v. het gebruik van interoperabele uitwisselingsformaten.

### 3.3.4 Relevante standaarden



**ISO 10303 / STEP:** Maakt het mogelijk om CAD-gegevens, inclusief geometrie, productstructuren en PMI (Product Manufacturing Information), uit te wisselen op een gestandaardiseerde en systeemafhankelijke manier. Hierdoor kunnen CAM-systemen deze data direct interpreteren en gebruiken, wat naadloze interoperabiliteit tussen ontwerp en productie ondersteunt.

**G-code:** Traditionele standaardtaal waarmee CAM-systemen CNC-machines aangestuurd kunnen worden op basis van geometrie en bewerkingsinstructies uit CAD-modellen.

**AutomationML:** maakt gestandaardiseerde uitwisseling van engineeringdata mogelijk tussen CAD-, CAM- en automatiseringstools. Daarnaast kan AutomationML breder ingezet worden voor het koppelen van CAD/CAM-data aan andere domeinen binnen de industriële automatisering, zoals procesplanning, PLC-programmering en virtuele inbedrijfstelling.

**Asset Administration Shell (AAS):** fungeert als digitale informatiedrager rond een asset en maakt het mogelijk om verwijzingen naar CAD/CAM-data op gestandaardiseerde en contextuele wijze te ontsluiten. De AAS vervangt bestaande CAD/CAM-formaten niet, maar biedt een uniforme structuur om deze data toegankelijk te maken voor toepassingen die systeemoverstijgend moeten samenwerken binnen de productieomgeving.

**ISO/IEC 81346:** Standaard voor het structureren van producten. Onderdelen binnen producten kunnen worden geïdentificeerd door middel van een systematische naamgeving. Dit kan bijdragen aan het gelijktrekken van de naamgeving van onderdelen tussen verschillende tools.

### 3.3.5 Aandachtspunten en best practices

Conversies tussen verschillende bestandsformaten (bijv. native CAD naar STEP) kunnen leiden tot verlies van features of metadata zoals toleranties en bewerkingsinstructies. Onderzoek vooraf de betrouwbaarheid van bestandsformaten en conversietools binnen de gebruikte toolketen.

Niet alle CAD- of CAM-systemen ondersteunen dezelfde versies of implementaties van standaarden zoals STEP, wat interoperabiliteit belemmert. Toets welke standaardversies door CAD- en CAM-systemen worden ondersteund en verifieer de onderlinge compatibiliteit.

Hanteer eenduidige afspraken voor naamgeving en metadata binnen CAD/CAM-bestanden voor herbruikbaarheid en automatische interpretatie. Gebruik waar mogelijk een gestandaardiseerd referentiegegevenssysteem (RDS), zoals ISO/IEC 81346, om structuur en semantiek eenduidig vast te leggen.

Voer ketentests uit met productie-relevante data om compatibiliteit en datakwaliteit te waarborgen. Betrek hierbij alle relevante systemen en stakeholders om afwijkingen vroegtijdig te signaleren en gezamenlijk op te lossen.

## 3.4 UC4: MES/ERP integratie

### 3.4.1 Omschrijving

Deze use case richt zich op het naadloos op elkaar laten aansluiten van productie- en bedrijfsprocessen door het integreren van Manufacturing Execution Systems (MES) en Enterprise Resource Planning (ERP) systemen. Voor een effectieve uitwisseling van informatie zoals productieorders, materiaalbewegingen, personeelsplanning en kwaliteitsgegevens is een consistente en betrouwbare koppeling tussen beide lagen essentieel. Door het toepassen van standaarden kunnen organisaties systemen van verschillende leveranciers koppelen met minder maatwerk, wordt de interoperabiliteit verhoogd en neemt de kans op fouten door verkeerde interpretatie van gegevens af. Vanuit technisch oogpunt gezien maakt het gebruik van gestandaardiseerde interfaces en datamodellen het mogelijk om gegevens geautomatiseerd en in real-time te synchroniseren, wat de efficiëntie, traceerbaarheid en flexibiliteit van productieprocessen aanzienlijk verbetert.

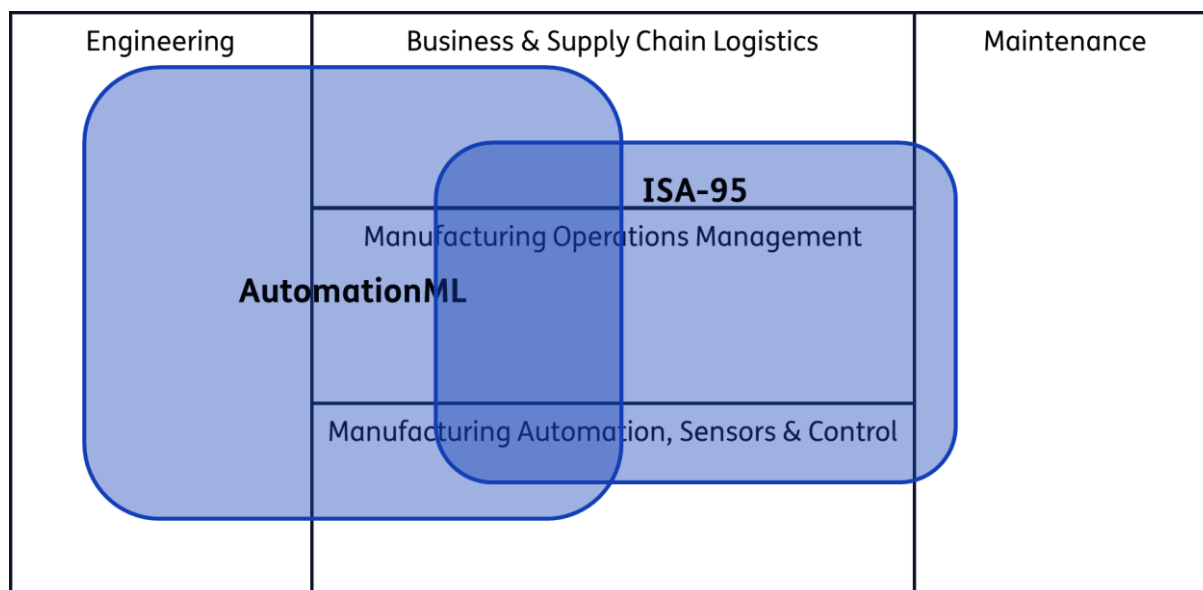
### 3.4.2 Bedrijfsdoelen

- **Betere afstemming tussen planning en uitvoering:** Productieopdrachten uit ERP worden direct vertaald naar concrete acties op de werkvloer.
- **Verhoogde operationele efficiëntie:** Handmatige gegevensinvoer vervalt, wat fouten en vertragingen vermindert.
- **Verbeterde traceerbaarheid:** Relevante productiegegevens kunnen automatisch teruggekoppeld worden naar ERP voor kwaliteitscontrole en rapportage.
- **Snellere besluitvorming:** Real-time statusupdates uit het MES bieden actueel inzicht in voortgang en knelpunten.
- **Ondersteuning van compliance en auditbaarheid:** Gegevensuitwisseling volgens standaarden maakt naleving van normen eenvoudiger.

### 3.4.3 Variaties

- **Shop-floor integratie:** Het aansturen en verwerken van feedback van de shop-floor vanuit business systemen.
- **Order-to-Production Integratie:** Het geautomatiseerd genereren en inplannen van productiestappen op basis van orders. Nauw verwant aan Manufacturing Operations Management.
- **Production Data Feedback:** Het updaten van orders, voorraad en verwachte doorlooptijden op basis van feedback vanuit de productie.

### 3.4.4 Relevante standaarden



**ISA-95:** biedt een gestandaardiseerd model voor de integratie tussen bedrijfs- (ERP) en productiesystemen (MES), met duidelijke definities van functies, gegevens en informatieniveaus. B2MML is een XML-implementatie van ISA-95 en wordt vaak gebruikt als formaat voor berichten over productieorders, materiaalbewegingen, personeel en prestaties.

**AutomationML:** maakt het onder andere mogelijk om productiegerelateerde engineeringdata, zoals machineopbouw, proceslogica en resources, op een gestandaardiseerde manier te beschrijven en uit te wisselen tussen systemen zoals MES en ERP. Hierdoor kunnen configuraties en masterdata efficiënt worden overgedragen, wat de integratie versnelt en fouten door handmatige invoer voorkomt.

### 3.4.5 Aandachtspunten en best practices

In een geïntegreerde fabriek moeten meerdere systemen met dezelfde gegevens werken. Dit vergroot het risico op duplicatie en desynchronisatie van gegevens. Maak duidelijke afspraken over welk systeem de bron is van welke gegevens en hoe updates worden verwerkt.

Gebruik middleware of integratieplatforms om directe punt-tot-punt integraties waar mogelijk te vermijden. Punt-tot-punt koppelingen zorgen vaak voor een wirwar aan afhankelijkheden die moeilijk te beheren zijn bij wijzigingen of uitbreiding. Door te werken met middleware kun je datastromen centraliseren, hergebruiken en monitoren, wat je flexibiliteit, betrouwbaarheid en toekomstbestendigheid aanzienlijk vergroot.

Implementeer robuuste foutafhandeling voor scenario's zoals netwerkstoringen, ontbrekende data of foutieve orders. Zorg ook voor logging en monitoring zodat problemen snel opgespoord kunnen worden. Leg in ditzelfde kader verantwoordelijkheden duidelijk vast door eigenaars aan te wijzen voor datakwaliteit, foutopvolging en interfacebeheer aan beide zijden van de koppeling.

Stel duidelijke scope en planning op bij inzet van externe partijen. Onvoldoende afstemming kan leiden tot vertragingen, misverstanden over eisen en extra kosten tijdens de implementatie.

## 3.5 UC5: Digital Product Passport

### 3.5.1 Omschrijving

Het digitaal product paspoort (DPP) is een door Europese wetgeving geïntroduceerd concept met als doel meer transparantie te creëren over de herkomst van een product, hoe het is gemaakt, en waarvoor het na het einde van de economische levensduur nog kan worden gebruikt. Naast het aanbieden van de verplichte data biedt het DPP ruimte om extra data toe te voegen. Deze data kan benut worden om bedrijfsprocessen te ondersteunen en het verdienvermogen van organisaties te verhogen door betere integratie in de waardeketen en een betere beschikbaarheid van productinformatie. Hoewel het DPP nog niet gestandaardiseerd is, zijn er al wel enkele standaarden die bijdragen aan het delen van data in de waardeketen, digitaliseren van productieprocessen en het bouwen van een DPP-systeem dat compatibel is met toekomstige DPP-implementaties.

Het DPP raakt aan meerdere andere Use Cases die in dit document worden omschreven. Afhankelijk van de organisatie en processen waar een DPP wordt geïmplementeerd kunnen er ook domeinspecifieke standaarden beschikbaar zijn die overwogen kunnen worden. Dit document focust zich echter op Digitale Product Paspoorten in het algemeen.

### 3.5.2 Bedrijfsdoelen

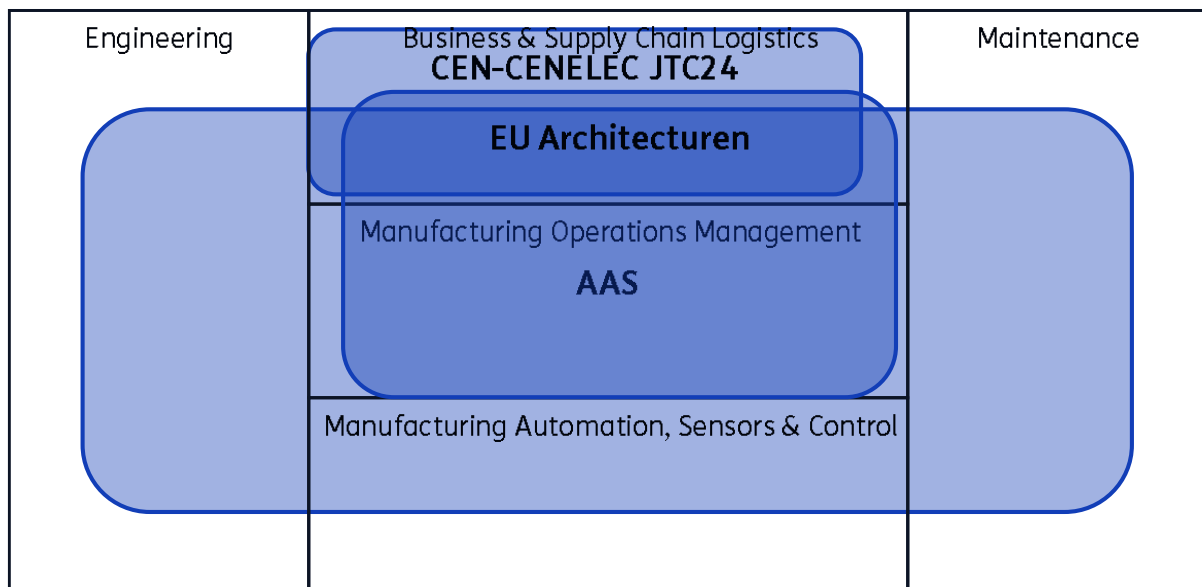
Digitale product paspoorten kunnen voor een groot aantal toepassingen worden ingezet, hieronder noemen we er enkele welke mogelijk relevant zijn. Dit is geen volledig overzicht maar dient vooral om aan te geven waar mogelijk meerwaarde gevonden kan worden.

- **Geautomatiseerde rapportages:** Als organisatie moeten er vaak tal van rapportages worden opgeleverd. Soms voor de wet, soms voor een klant, en soms ook voor interne doelstellingen. Denk dan aan rapportages over producten, productcompositie (zoals de aanwezigheid van gevaarlijke stoffen), en rapportages over de duurzaamheid van de waardeketen. De data waarover gerapporteerd moet worden is veelal al beschikbaar via de bestaande rapportageprocessen, en kan daardoor ook beschikbaar worden gemaakt via een DPP. Wanneer er al een DPP beschikbaar is, is het ook mogelijk om de rapportages te generen uit het product paspoort.
- **Voldoen aan DPP-wetgeving:** Voor sommige productcategorieën, zoals batterijen [4], bouwproducten [5], en binnenkort ook andere sectoren [6], wordt het aanbieden van DPPs door de Europese Unie verplicht. Een product wat onder deze wetgeving valt, maar geen DPP heeft, mag dan in Europa niet verkocht worden.
- **Gerichte terugroepacties:** Soms gaan er helaas zaken in mis in de productie van goederen en is een terugroepactie de enige optie om het probleem op te lossen of te voorkomen in producten die al verkocht zijn. Wanneer dit het geval is moeten vaak grote hoeveelheden producten worden teruggeroepen, terwijl het probleem maar bij een klein aantal producten optreedt. Dit komt veelal door gebrekkige koppeling van binnenkomende materialen, (half)fabricaten, productiestappen, en verkochte producten. In het DPP kan deze koppeling expliciet worden gelegd. Zo kan het aantal terug te roepen producten worden verkleind en de impact van een productiefout worden verkleind in sommige situaties.
- **Machine configuratie:** Wanneer meer informatie (digitaal) beschikbaar is over inkomende materialen en halffabricaten zouden productiemachines hiermee dynamisch geconfigureerd kunnen worden waardoor het productieproces efficiënter en/of flexibeler gemaakt kan worden.

### 3.5.3 Variaties

- **Value chain Transparency:** Het bijhouden en publiceren van de stappen uit de waardeketen die van toepassing zijn (geweest) op een product.
- **Automatisering rapportage Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD):** Het automatisch genereren van de gevraagde rapportage voor CSRD-doeleinden op basis van productiedata. Vergelijkbare rapportages kunnen worden gegenereerd om te voldoen aan de Corporate Sustainable Due Diligence Directive (CSDDD, ook wel bekend als de “antiwegkijkwet”) en de European Union Deforestation Regulation (EUDR, ook wel bekend als de ontbossingsverordening)
- **Traceability & Provenance systems:** Het bijhouden van de processtappen die op een product zijn toegepast.

### 3.5.4 Relevante standaarden



**Asset Administration Shell (AAS):** Standaard om data mee te structureren en het eenvoudiger te kunnen delen met andere organisaties. Een AAS kan voor een breed scala aan assets worden gemaakt, en maakt het eenvoudig eerder gestandaardiseerde informatiemodellen te hergebruiken. Dit maakt de AAS ook bruikbaar om data in een DPP te structureren en deze data met ketenpartners te delen. De AAS is afkomstig uit de maakindustrie en ook de meest industrie-specifieke standaard welke momenteel wordt gebruikt in het DPP-ecosysteem.

**CEN-CENELEC JTC24:** Aangezien dat de ontwikkeling van Digitale Product Paspoorten wordt aangejaagd door Europees beleid is er ook een formeel standaardisatie-initiatief. Hierin ligt de nadruk op de specifieke gegevens die via het DPP gedeeld moet worden tussen partijen en welke rol verschillende soorten partijen te vervullen hebben binnen het DPP-ecosysteem. Op dit moment (april 2025) is er nog geen standaard beschikbaar. In maart 2026 moet de standaard zijn afgerond met daarvoor ten minste één publieke consultatie van de conceptstandaard. Afhankelijk van wanneer deze DPP-implementatie begint is dit dus een standaard om te gebruiken, of een initiatief om in de gaten te houden.

**EU Architecturen:** Bij gebrek aan een formele standaard zijn verschillende (EU) projecten eigen DPP-architecturen gaan ontwikkelen voor gebruik binnen hun (beperkte) scope. Deze oplossingsarchitecturen zijn geen formele standaard en worden ook niet zo intensief getoetst zoals het werk van JTC24. Daarentegen zijn de architecturen wel beschikbaar en kunnen als

startpunt dienen voor een implementatie of ontwerp voor een DPP. Goede startpunten zijn de architectuur van de CE-RISE en CIRPASS-2 projecten. Omdat dit geen formele standaarden zijn, en het beheer van de systemen wordt gedaan in tijdelijk lopende projecten zullen we hier niet verder bij stilstaan in Hoofdstuk 4.

### 3.5.5 Aandachtspunten en best practices

Naast het ontwikkelen van de DPP-infrastructuur is het essentieel om ook aandacht te besteden aan twee andere aspecten: ten eerste het vaststellen van welke gegevens wettelijk minimaal vereist zijn, en ten tweede het voorbereiden van de interne IT-architectuur om data betrouwbaar, veilig en traceerbaar beschikbaar te maken. Er zijn momenteel veel initiatieven en organisaties actief op deze vlakken — van beleidsmakers tot standaardisatiefora en technologieaanbieders. Bedenk goed waar jouw organisatie positie kiest in dit speelveld, en stem af welke onderdelen je zelf ontwikkelt en waar je aansluit bij bestaande oplossingen of standaarden.

Tot slot, in 2025 zijn er grote geo-politieke ontwikkelingen geweest. Deze hebben niet direct een relatie tot het DPP, maar wel tot gevolg gehad dat dit concept, welke ooit was bedoeld om emissies en klimaatimpact inzichtelijk te maken, steeds meer functionaliteiten toebedeeld heeft gekregen. Zoals rondom weerbare waardeketens, hergebruik van zeldzame materialen en het versterken van het verdienvermogen. We zien het DPP als concept het afgelopen jaar dan ook opduiken in een breed scala aan wetgeving, en in de verschillende vereenvoudigingen van EU beleid (de zo geheten: ‘Omnibus’). Hierin wordt het DPP niet afgezwakt maar groeit deze juist in ambitie.

## 3.6 UC6: Recept-gedreven aansturing productielijn

### 3.6.1 Omschrijving

Recept-gedreven aansturing van productielijnen integreert productrecepten, bijvoorbeeld afkomstig uit CAD- of PLM-systemen, rechtstreeks met productieapparatuur via systemen zoals MES of SCADA. Deze recepten bevatten gestandaardiseerde informatie over processtappen, machine-instellingen, materialen en kwaliteitsparameters. Door machines automatisch aan te sturen op basis van deze gegevens, wordt elk product vervaardigd volgens exacte specificaties, wat leidt tot hogere consistentie, minder handmatige fouten en kortere omsteltijden. Daarnaast ondersteunt deze aanpak flexibele productie, waarbij eenvoudig gewisseld kan worden tussen varianten of klant-specifieke opdrachten. In R&D contexten kan de use case worden ingezet om snel productiebatches met uiteenlopende specificaties te laten produceren.

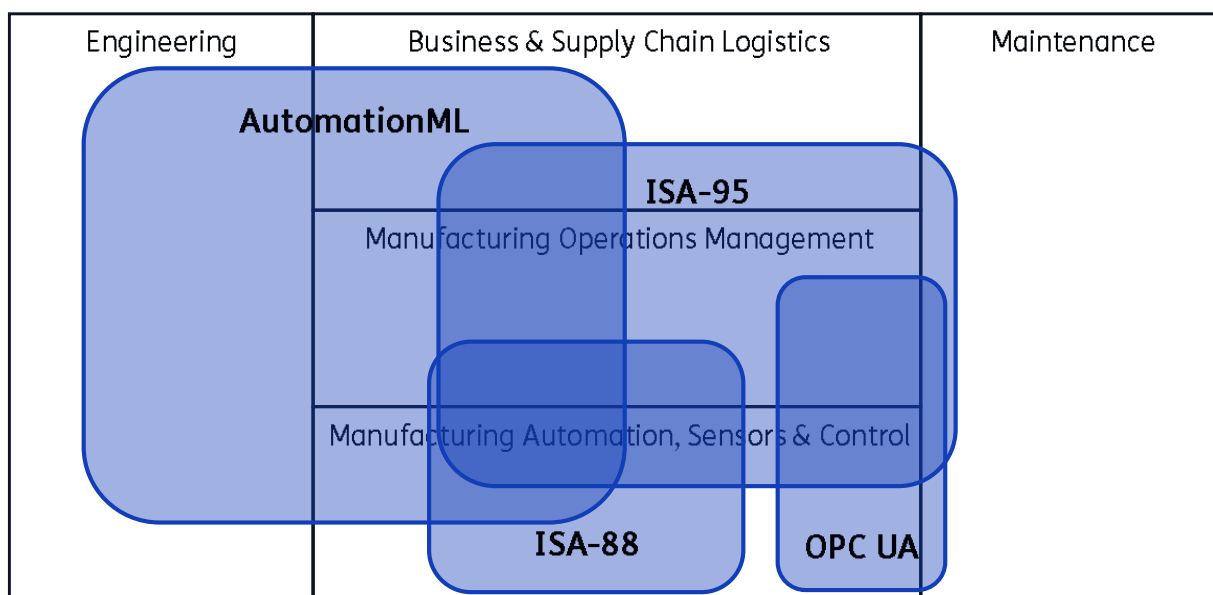
### 3.6.2 Bedrijfsdoelen

- **Consistente productkwaliteit:** Standaardisatie van recepten zorgt ervoor dat elk product volgens dezelfde instellingen en parameters wordt geproduceerd, wat variatie en fouten minimaliseert.
- **Verkorting van omsteltijden:** Automatische aanpassing van machines op basis van het geselecteerde recept versnelt de omschakeling tussen productiecycli.
- **Foutreductie:** Door het elimineren van handmatige invoer van instellingen worden menselijke fouten aanzienlijk verminderd.
- **Schaalbaarheid van productie:** Gestandaardiseerde receptstructuren maken het eenvoudiger om processen te herhalen of uit te rollen naar andere lijnen of locaties.
- **Traceerbaarheid en compliance:** Een digitaal recept legt vast welke instellingen, materialen en processtappen zijn voorgeschreven, en vormt samen met loggegevens de basis om aan te tonen of productie conform specificatie is uitgevoerd.

### 3.6.3 Variaties

- **Parametrische productie-aansturing:** Productie van goederen op basis van een vast aantal parameters, die gebruikt worden om een (beperkte) mate van flexibiliteit in productie aan te brengen.
- **Ordergestuurde productie (Make-to-Order):** Het ondersteunen van productie van maatwerk orders met een hoge mate van variaties.
- **Lot-/batchproductie met centrale receptuur:** Aanpassen van bill-of-materials (BoM) op basis van een hoofdrecept voor specifieke batches / lots.
- **Formulegestuurde productie:** Productie van producten op basis van formulering, indien nodig aangepast op basis van dynamisch berekende criteria.
- **Recipe Management Systems (RMS):** Een systeem voor het organiseren van recepten. Indien gecombineerd met geïntegreerde aansturing van machines verwant aan deze use case.

### 3.6.4 Relevante standaarden



**OPC UA:** biedt een gestandaardiseerde informatie-uitwisseling waarmee receptdata op een gestructureerde, beveiligde en digitale methode tussen systemen en productieapparatuur gedeeld kan worden. Hierdoor kunnen machines automatisch worden geconfigureerd op basis van digitale recepten, wat flexibiliteit en consistentie in de productie ondersteunt.

**AutomationML:** maakt het mogelijk om receptinformatie, zoals processtappen, parameters en materiaaldata, op een gestandaardiseerde en gestructureerde manier uit te wisselen tussen engineering- en productiesystemen. Hierdoor wordt consistente en automatische configuratie van machines mogelijk, wat bijdraagt aan flexibiliteit, herhaalbaarheid en integratie binnen digitale productieketens.

**ISA-88:** biedt een generiek model voor het structureren van productieprocessen, waarbij recepten, processtappen en machines los van elkaar worden beschreven. Dit bevordert de standaardisatie, modulariteit en herbruikbaarheid van procesconfiguraties, wat essentieel is voor flexibele en schaalbare recept-gedreven productie.

**ISA-95:** biedt een gestandaardiseerd informatiemodel en functionele indeling voor de integratie tussen bedrijfsprocessen (zoals ERP) en productieprocessen (zoals MES en SCADA). In de context van recept-gedreven productie helpt ISA-95 om receptdata, productieorders en bijbehorende parameters eenduidig te structureren en af te stemmen tussen verschillende systeemlagen.

### 3.6.5 Aandachtspunten en best practices

Koppel receptbeheer aan een centraal systeem zoals MES, PLM of RMS, waardoor versiebeheer, goedkeuring en koppeling aan orders automatisch verloopt.

Implementeer change- en releasebeheer voor recepten om wijzigingen gestructureerd door te voeren en te documenteren. Dit maakt het mogelijk om aanpassingen traceerbaar te houden, de impact van wijzigingen vooraf te beoordelen en goedkeuringstappen te integreren. Zo wordt de kans op fouten in productie verminderd en blijft de kwaliteit gewaarborgd.

Test nieuwe recepten in een digital twinning of simulatietool om (delen van) het productieproces vooraf virtueel te valideren. Zo kunnen fouten, conflicten of inefficiënties vroegtijdig worden opgespoord zonder impact op de daadwerkelijke productie. Dit verhoogt de betrouwbaarheid van nieuwe recepten en verkort de tijd tot vrijgave.

Afstemming tussen systemen is essentieel, maar wordt bemoeilijkt doordat verschillende leveranciers vaak eigen receptstructuren en interfaces hanteren. Dit gebrek aan standaardisatie maakt integratie arbeidsintensief en foutgevoelig. Door bij aanschaf en integratie expliciet te kiezen voor open standaarden en gestandaardiseerde interfaces, kan deze complexiteit aanzienlijk worden verminderd.

## 3.7 UC7: Autonome productie

### 3.7.1 Omschrijving

In autonome productieomgevingen nemen systemen zelfstandig beslissingen op basis van real-time data. Productieprocessen verlopen grotendeels zonder menselijke tussenkomst. Machines en software reageren automatisch op afwijkingen, verstoringen of veranderende omstandigheden. Beslissingen worden ondersteund door algoritmes, regels en historische data. Sensoren, digital twins en AI spelen hierbij een centrale rol. Autonomie kan worden toegepast op deelprocessen of volledige productielijnen. Dit leidt tot hogere efficiëntie, minder menselijke fouten, kortere reactietijden en een continue, flexibele productie met minder afhankelijkheid van operators. Integratie van ontwerp, planning en uitvoering is hierbij essentieel. De focus ligt op zogeheten self-X-eigenschappen, zoals zelfoptimalisatie, zelfconfiguratie en zelforganisatie [7]. Continue afstemming binnen de productieketen is noodzakelijk om dynamisch te kunnen reageren. Autonome productie stelt hoge eisen aan standaardisatie, interoperabiliteit en betrouwbare toegang tot data.

### 3.7.2 Bedrijfsdoelen

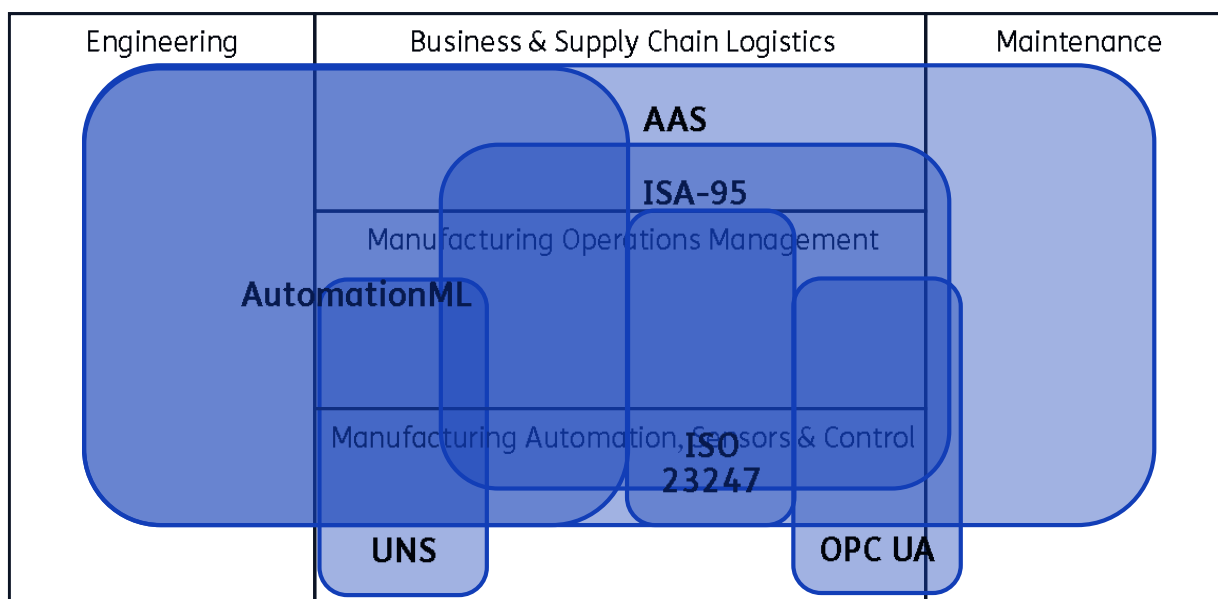
- **Efficiëntie verhogen:** Door real-time beslissingen en procesoptimalisatie kunnen middelen beter worden benut en stilstand geminimaliseerd.
- **Foutreductie:** Minder handmatige handelingen en automatische correctie van afwijkingen verkleinen de kans op menselijke fouten.
- **Snellere reactietijden en minder stilstand:** Dankzij autonome besluitvorming binnen de productieomgeving kunnen systemen snel reageren op afwijkingen of verstoringen, waardoor stilstand wordt voorkomen en de productie vloeiender verloopt
- **Flexibele productie:** Autonome systemen kunnen zich dynamisch aanpassen aan productvarianten, fluctuaties in vraag of onverwachte omstandigheden.
- **Operationele continuïteit:** Systemen kunnen productie zelfstandig voortzetten, ook buiten reguliere werktijden of bij beperkte personeelsbezetting.

### 3.7.3 Variaties

- **Smart Factory:** Fabriek met een hoge mate van automatisering en systeemintegratie, die operators en managers in staat stelt snel de juiste beslissingen te nemen. Vaak ondersteund door AI.
- **Lights-out manufacturing:** Productie met zeer beperkte (of zelfs geen) menselijke interventie.
- **Zelfoptimaliserende productie:** Het aanwenden van geavanceerde en dynamische planningsalgoritmen om efficiënter te produceren. De productie en planning wordt real-time bijgewerkt op basis van beschikbare orders, materiaal en productieresultaten.
- **Adaptieve productie:** Productie aanpassen op basis van feedback tijdens productie.
- **Flexible Manufacturing Systems:** Productiesystemen die voor de productie van meerdere producten, productvarianten en/of processtappen kunnen worden ingezet.

### 3.7.4 Relevante standaarden

Het domein van autonome productie is volop in ontwikkeling. Hoewel deze publicatie een overzicht geeft van de belangrijkste standaarden, is het goed mogelijk dat er nog relevante standaarden ontbreken, gezien de grote en groeiende aandacht voor dit onderwerp. Veel van de beschreven standaarden overlappen bovendien in de functionaliteiten die ze bieden voor autonome productie. Binnen het NEXTGEN-programma werkt het SI05-project (*Autonomous factory - Common*) aan de verdere ontwikkeling van deze concepten. Daarbij krijgt standaardisatie expliciet veel aandacht.



**OPC UA:** maakt het mogelijk om op gestandaardiseerde, veilige en gestructureerde wijze data uit te wisselen én commando's te versturen tussen machines, sensoren en IT-systemen. In autonome productie ondersteunt dit zowel de integratie als de aansturing van systemen, doordat actuele en semantisch eenduidige informatie beschikbaar is voor geautomatiseerde besluitvorming en procesuitvoering.

**ISA-95:** biedt een gelaagd informatiemodel en functionele structuur voor de integratie tussen bedrijfs- en productiesystemen. In autonome productie helpt dit bij het organiseren van gegevens- en taakuitwisseling tussen systemen zoals ERP, MES en shopfloor-automatisering, wat essentieel is voor coherente besluitvorming en procesuitvoering zonder menselijke tussenkomst.

**AutomationML:** faciliteert de uitwisseling van engineeringgegevens tussen verschillende tools en systemen. In autonome productie ondersteunt dit de consistente overdracht van contextuele informatie die nodig is voor zelfconfiguratie, adaptief gedrag en interoperabiliteit tussen machines en software.

**ISO 23247:** biedt een technologie-onafhankelijk raamwerk voor het opzetten van schaalbare en interoperabele digital twin-architecturen in de maakindustrie. In autonome productie biedt de standaard een gestructureerde aanpak om toepassingen zoals real-time monitoring, simulatie en data-gedreven besluitvorming op een consistente en herbruikbare manier te ontwikkelen en implementeren.

**Asset Administration Shell (AAS):** fungeert als een gestandaardiseerde digitale representatie van fysieke assets en biedt gestructureerde, digitale toegang tot assetgegevens. In autonome productie ondersteunt de AAS interoperabiliteit en self-X-eigenschappen van systemen, zoals zelforganisatie en zelfoptimalisatie, door actuele en semantisch eenduidige informatie beschikbaar te stellen voor geautomatiseerde besluitvorming en samenwerking tussen assets.

**Unified Namespaces (UNS):** biedt een centrale, contextuele structuur voor het organiseren en toegankelijk maken van data uit verschillende IT/OT systemen in real-time. In autonome productie fungeert de UNS als informatieruggengraat, waardoor machines, applicaties en

services eenvoudig en eenduidig gegevens kunnen opzoeken, interpreteren en gebruiken voor autonome besluitvorming en coördinatie.

### 3.7.5 Aandachtspunten en best practices

Begin met een goed afgebakende use case met duidelijke waarde en schaal stapsgewijs op; niet elk proces of productielijn vereist hetzelfde niveau van autonomie. Door iteratief te werken en te leren van de eerste implementaties, kun je gefaseerd uitbreiden op basis van ervaring en feedback.

Autonome systemen zijn sterk afhankelijk van actuele, volledige en betrouwbare data. Slechte datakwaliteit kan leiden tot verkeerde beslissingen of zelfs systeemuitval, dus het is cruciaal om datastromen en databronnen continu te monitoren, te testen en te valideren om afwijkingen vroegtijdig te detecteren en te corrigeren.

Autonome productie raakt meerdere disciplines raakt, van IT en OT tot engineering en operations. Hierdoor is nauwe samenwerking tussen deze domeinen essentieel voor een succesvolle implementatie.

Maak de werking van autonome systemen inzichtelijk door te investeren in explainable AI en transparante logica. Dit helpt operators en analisten begrijpen hoe beslissingen tot stand komen, wat niet alleen bijdraagt aan acceptatie maar ook van belang is voor audits en naleving. Investeer hierom in training en ontwikkeling van personeel, zodat zij de vaardigheden en kennis opdoen om effectief met autonome systemen te kunnen werken en deze adequaat te beheren

Naarmate systemen autonomer worden, neemt ook de datatoegang en onderlinge communicatie toe, wat de kwetsbaarheid voor cyberaanvallen vergroot. Een doordachte aanpak van toegangsbeheer, netwerksegmentatie en continue beveiligingsmonitoring is daarom noodzakelijk.

Investeer in datastandaarden en semantische interoperabiliteit. Gebruik (inter)nationale standaarden om systemen consistent en digitaal met elkaar te laten communiceren. Daarnaast helpt de terminologie en datastructuur die door deze standaarden wordt geboden om een gemeenschappelijk begrip te creëren tussen systemen, teams en leveranciers. Dit vermindert misinterpretaties, versnelt integraties en vormt een betrouwbare basis voor schaalbare autonome toepassingen.

.

## 4 Beschrijvingen per standaard

In dit hoofdstuk worden de standaarden toegelicht die in de voorgaande use cases zijn geïdentificeerd. Veel van deze standaarden zijn niet beperkt tot één specifieke toepassing, maar ondersteunen meerdere use cases binnen verschillende contexten. Daarom biedt dit hoofdstuk per standaard een beknopte, use case overstijgende beschrijving. Daarnaast wordt per standaard verwezen naar officiële documentatie en andere relevante bronnen voor verdere verdieping en implementatie.

Per standaard is gestreefd naar een compacte en eenduidige beschrijving. De volgende elementen worden besproken:

1. **Doel van de standaard:** schetst in beknopte vorm de essentie van de standaard.
2. **Toepassingsgebied:** beschrijft waar, wanneer en voor welke doeleinden de standaard relevant en inzetbaar is.
3. **Voordelen:** Als deze standaard gebruikt worden in de praktijk, wat is dan de toegevoegde waarde hiervan? Naast de algemene voordelen van het gebruik van standaarden zoals besproken in hoofdstuk 2, wordt hier ingegaan op de specifieke voordelen van de desbetreffende standaard.
4. **Eerste stappen en meer info:** Wat heb je nodig om met deze standaard te beginnen? Sommige standaarden bestaan uit technische implementaties, terwijl anderen meer op conceptueel niveau zaken beschrijven. In dit onderdeel geven we enkele handvatten om je verder te verdiepen en praktische aanknopingspunten om een eerste stap te zetten.
5. **Voorbeeld use cases:** Om de toepassing van de standaard concreter te maken, verwijzen we naar één of meerdere relevante use cases uit Hoofdstuk 3.

De volgende standaarden zullen besproken worden:

- 1) OPC Unified Architecture (OPC UA)
- 2) ISO 10303 (STEP)
- 3) ISO 23247
- 4) ISA-88 (S88)
- 5) AutomationML
- 6) Asset Administration Shell (AAS)
- 7) ISA-95
- 8) PackML
- 9) G-code
- 10) ISO 22400
- 11) CEN-CENELEC JTC-24
- 12) Unified Namespace (UNS)
- 13) Sparkplug B
- 14) ISO/IEC 81346

## 4.1 OPC Unified Architecture (OPC UA)

### 4.1.1 Doel van de standaard

OPC Unified Architecture (OPC UA) [8] is een open, platformonafhankelijke standaard die veilige en gestandaardiseerde gegevensuitwisseling tussen industriële machines, systemen en software mogelijk maakt. Deze standaard bevordert de interoperabiliteit tussen IT- en OT-systemen, wat cruciaal is voor de digitalisering van productieomgevingen. Dankzij OPC UA kunnen verschillende systemen, ongeacht de fabrikant, effectief met elkaar communiceren.

### 4.1.2 Toepassingsgebied

OPC UA wordt breed toegepast in industriële automatisering, waar het machines, productielijnen en IT-systemen met elkaar verbindt. De standaard is geschikt voor uiteenlopende toepassingen, van standalone sensoren op de productievloer tot communicatie met MES- en ERP-systemen. Dankzij de veelzijdigheid en schaalbaarheid wordt OPC UA vaak ingezet in smart factories en Industrie 4.0-projecten, waar veilige real-time data-uitwisseling en interoperabiliteit essentieel zijn. Ook toepassingen zoals batchproductie, traceerbaarheid en energiebeheer profiteren van de flexibiliteit en betrouwbaarheid van deze standaard.

### 4.1.3 Voordelen

**Interoperabiliteit:** Naadloze communicatie tussen verschillende technologieën en systemen, ongeacht de fabrikant. Werkt op verschillende besturingssystemen en met verschillende programmeertalen. Een essentieel onderdeel van deze interoperabiliteit is de ondersteuning van informatiemodellering, waarmee gegevens semantisch eenduidig worden beschreven. Dit zorgt ervoor dat systemen niet alleen data kunnen uitwisselen, maar deze ook correct interpreteren.

**Schaalbaarheid:** Geschikt voor zowel kleine embedded apparaten en sensoren als complexe productielijnen, wat betekent dat OPC UA geschikt is voor bedrijven van verschillende groottes.

**Beveiliging:** Biedt state-of-the-art veiligheidsprotocollen voor encryptie en authenticatie, waardoor de gegevensuitwisseling tussen systemen veilig en betrouwbaar is.

**Flexibiliteit:** Ondersteunt verschillende datamodellen en -structuren, waardoor uiteenlopende toepassingen zoals predictive maintenance en procesoptimalisatie mogelijk worden.

### 4.1.4 Eerste stappen en meer info

De onderstaande stappen maken onderscheid tussen eindgebruikers — die bijvoorbeeld een OPC UA-ondersteunende machine willen aanschaffen — en ontwikkelaars die zelf een OPC UA-implementatie willen bouwen.

#### 4.1.4.1 Eindgebruikers

**Vraag welke Companion Specifications [9] ondersteund worden:** deze specificaties definiëren gestandaardiseerde informatiemodellen voor specifieke sectoren of apparaten, en bepalen in hoge mate hoe goed een systeem integreert met andere OPC UA-oplossingen.

**Onderzoek in hoeverre er extra kosten van toepassing zijn, zoals licenties of upgrades:** in de praktijk blijkt ondersteuning niet altijd te betekenen dat functionaliteit ook direct beschikbaar is.

**Vraag welke use cases ondersteund worden:** dit geeft inzicht in de praktische toepasbaarheid van de OPC UA-implementatie binnen jouw specifieke omgeving of processen.

**Verbind met een OPCUA browser:** hiermee verifieer je of de toegang tot de machine werkt en krijg je direct een eerste inzicht in de beschikbare gegevensstructuur en datapunten.

#### 4.1.4.2 Ontwikkelaars

**Vraag bij je PLC-leverancier in hoeverre ze OPC UA ondersteunen en welke tools ze bieden:** dit helpt je om te bepalen of er ingebouwde OPC UA-functionaliteit beschikbaar is, welke configuratiemogelijkheden er zijn en of je kunt voortbouwen op bestaande bibliotheken of software development kits

**Inventariseer welke standaarden gebruikelijk zijn binnen je domein, bijv. via een beroepsvereniging:** dit helpt je bij het kiezen van relevante OPC UA Companion Specificaties en zorgt voor betere aansluiting bij bestaande sectorpraktijken.

**Inventariseer de behoefte aan gegevensuitwisseling:** Begrijp welke gegevens tussen machines en systemen moeten worden uitgewisseld.

**Raadpleeg de OPC Foundation website over OPC UA Companion Specifications [9]:** zo krijg je inzicht in de beschikbare informatiemodellen die relevant kunnen zijn voor jouw sector.

**Download de zogenaamde NodeSet:** Bekijk deze in een OPC UA-modelleringsstool, zoals UaModeler, SIOME of een vergelijkbaar hulpmiddel, zo krijg je inzicht in de datastructuur, typen en referenties die binnen het informatiemodel worden gebruikt.

#### 4.1.5 Voorbeeld use cases

UC1: IoT integratie

UC6: Recept-gedreven aansturing productielijn

UC7: Autonome productie

## 4.2 ISO 10303 (STEP)

### 4.2.1 Doel van de standaard

ISO 10303 [10] [11], ook bekend als STEP (Standard for the Exchange of Product model data), is een internationale standaard voor de digitale representatie en uitwisseling van productdata gedurende de volledige levenscyclus van een product. Het doel van deze standaard is om een mechanisme te bieden waarmee productgegevens onafhankelijk van specifieke software- of leveranciersystemen kunnen worden beschreven, opgeslagen en uitgewisseld. Dit maakt het mogelijk om technische informatie te delen tussen verschillende CAD-, CAM-, CAE- en PLM-systemen, van ontwerp tot gebruik en onderhoud.

### 4.2.2 Toepassingsgebied

ISO 10303 wordt breed toegepast in diverse industrieën, waaronder de automobiel-, luchtvaart-, scheepsbouw-, en bouwsector. Het is geschikt voor het uitwisselen van gegevens over mechanisch en elektrisch ontwerp, geometrische dimensionering en toleranties, analyse en productie. Het toepassingsgebied van STEP wordt verder gespecificeerd in Application Protocols (AP's), elk gericht op een bepaald domein.

### 4.2.3 Voordelen

**Open standaard, wereldwijd erkend:** STEP is een internationale ISO-standaard met brede adoptie, wat langdurige ondersteuning en compatibiliteit waarborgt.

**Interoperabiliteit:** Zorgt voor naadloze gegevensuitwisseling tussen verschillende systemen en softwaretoepassingen, ongeacht de fabrikant.

**Levenscyclusbeheer:** Ondersteunt het beheer van productgegevens gedurende de gehele levenscyclus van een product, van ontwerp tot productie en onderhoud.

**Neutraliteit:** Biedt een systeemafhankelijke manier om productgegevens te beschrijven, wat zorgt voor consistentie en betrouwbaarheid.

**Breed toepassingsgebied:** Geschikt voor een breed scala aan industrieën en toepassingen, wat de standaard veelzijdig en toekomstbestendig maakt.

### 4.2.4 Eerste stappen en meer info

**Verdiep je in de basisprincipes:** Lees de basisprincipes van ISO 10303 en begrijp hoe de standaard is opgebouwd.

**Bepaal het doel van gebruik:** Stel vast waarom je STEP wilt gebruiken: is het voor systeemafhankelijke uitwisseling, lange-termijn archivering, supply chain-integratie, of overstap naar model-based engineering (MBE)? Dit helpt om het juiste toepassingsgebied en de juiste STEP-variant (AP) te kiezen.

**Stel kwaliteitscriteria op voor STEP-bestanden:** Definieer minimale eisen voor wat in een STEP-bestand moet zitten (bijv. geometrie, toleranties, materiaal, revisie-informatie). Dit voorkomt dat bruikbare informatie verloren gaat bij export/import.

**Bekijk voorbeelden en referentie-implementaties:** Analyseer bestaande implementaties en showcases om inzicht te krijgen in hoe ISO 10303 in de praktijk wordt toegepast.

**Identificeer relevante Application Protocols (AP's):** Bekijk of er al sectorspecifieke modules beschikbaar zijn die relevant kunnen zijn voor jouw domein.

**Controleer de STEP-ondersteuning van je softwaretools:** Inventariseer of je CAD, PLM of CAE-systemen STEP kunnen importeren/exporteren en met welk AP-type. Niet alle implementaties zijn gelijkwaardig; sommige ondersteunen alleen geometrie, andere ook metadata, assemblies en PMI.

#### 4.2.5 Voorbeeld use cases

UC3: Tool interoperabiliteit voor CAD/CAM

## 4.3 ISO 23247

### 4.3.1 Doel van de standaard

ISO 23247 [12] is een internationale standaard die een raamwerk biedt voor het opzetten van schaalbare en interoperabele digital twin-architecturen in de maakindustrie. De standaard definieert een technologie-onafhankelijke referentiearchitectuur waarin essentiële rollen, componenten en interfaces worden geïdentificeerd om fysieke assets te koppelen aan hun digitale representaties via gestructureerde (real-time) data-acquisitie, communicatie en services. Dit maakt het mogelijk om digitale representaties te benutten voor toepassingen zoals realtime monitoring, simulatie, voorspelling en data-gedreven besluitvorming, op een consistente en herbruikbare manier. ISO 23247 is toepasbaar op verschillende niveaus – van individuele machines tot complete fabrieken – en sluit aan bij smart manufacturing- en Industrie 4.0-initiatieven.

### 4.3.2 Toepassingsgebied

ISO 23247 is van toepassing op het ontwerpen, implementeren en beheren van digital twins binnen de maakindustrie, waaronder sectoren zoals de automobiel-, luchtvaart-, en farmacie. Het is onder andere geschikt voor het monitoren en optimaliseren van productieprocessen, het verbeteren van defectdetectie, en het verlagen van kosten door automatisering door het creëren van een digitale representatie van een fysieke asset of een combinatie hiervan. De standaard ondersteunt de overgang naar slimme fabrieken en sluit hiermee aan bij de principes van Industrie 4.0.

### 4.3.3 Voordelen

**Gestandaardiseerd raamwerk voor digital twins:** biedt een duidelijke, technologie-onafhankelijke referentiearchitectuur die helpt bij het gestructureerd opzetten van digital twin-omgevingen.

**Interoperabiliteit:** Door gebruik te maken van open interfaces en bestaande standaarden (zoals OPC UA [8]), kunnen systemen van verschillende leveranciers probleemloos samenwerken.

**Herbruikbaarheid van componenten:** Door het gebruik van gedefinieerde rollen en functionele blokken kunnen bestaande oplossingen worden hergebruikt in andere delen van het systeem of in andere projecten.

**Schaalbaarheid en flexibiliteit:** De standaard is toepasbaar op verschillende niveaus – van individuele machines tot volledige fabrieken – en ondersteunt zowel eenvoudige als complexe digital twin-toepassingen.

**Breed inzetbaar:** ISO 23247 ondersteunt uiteenlopende toepassingen zoals realtime monitoring, simulatie, voorspelling, onderhoudsplanning en procesoptimalisatie.

### 4.3.4 Eerste stappen en meer info

**Bepaal het doel van je digital twin-toepassing:** Definieer duidelijk waarom je een digital twin wilt inzetten: bijvoorbeeld realtime monitoring, voorspellend onderhoud, simulatie of procesoptimalisatie. Dit helpt bij het bepalen van de schaal, scope en benodigde componenten.

**Analyseer bestaande systemen en data-infrastructuur:** Breng in kaart welke fysieke assets, sensoren, databronnen en IT/OT-systemen (zoals SCADA, MES, ERP) al aanwezig zijn. Zo identificeer je waar koppelingen nodig zijn en welke data al beschikbaar is.

**Bestudeer de referentiearchitectuur van ISO 23247:** Verdiep je in de gedefinieerde rollen, functionele componenten (entities) en interfaces.

**Start klein:** Kies een afgebakende use case (bijv. één machine of proceslijn) en implementeer daar een eenvoudige digital twin op basis van ISO 23247. Dit maakt testen en leren mogelijk zonder grote investeringen.

**Zorg voor breed multidisciplinair draagvlak:** Betrek stakeholders uit productie, IT, engineering en onderhoud bij het ontwerp en de uitvoering van de digital twin. Digital twins zijn geen IT-projecten alleen — samenwerking is cruciaal.

#### 4.3.5 Voorbeeld use cases

UC7: Autonome productie

## 4.4 ISA-88

### 4.4.1 Doel van de standaard

ISA-88, ook bekend als S88 of IEC 61512-1 [13], is een internationale standaard voor het modelleren en automatiseren van batchprocessen in de procesindustrie. Het doel van deze standaard is om een consistente set van modellen, structuren en terminologie te bieden voor het beschrijven van zowel apparatuur als procesprocedures, waarbij een duidelijke scheiding wordt aangebracht tussen de fysieke installatie en de procedurele besturing. ISA-88 bevordert standaardisatie, modulariteit en herbruikbaarheid, waardoor integratie, configuratie en communicatie tussen systemen en leveranciers eenvoudiger en efficiënter worden — zowel binnen als buiten traditionele batchomgevingen.

### 4.4.2 Toepassingsgebied

ISA-88 wordt breed toegepast in de voedingsmiddelen-, farmaceutische-, en chemische industrie, waar batchproductie een cruciale rol speelt. De standaard ondersteunt zowel geautomatiseerde als handmatige processtappen en biedt het een raamwerk voor gestandaardiseerd receptbeheer, ongeacht de schaal van productie – van kleine pilotbatches tot grootschalige fabricage. ISA-88 wordt ook toegepast buiten traditionele batchsectoren, bijvoorbeeld in verpakkinglijnen of modulaire productiesystemen, waar een vergelijkbare flexibiliteit en structuur gewenst is.

### 4.4.3 Voordelen

**Scheiding van proceslogica en apparatuur:** Door het proces (de recepten) los te koppelen van de fysieke installatie, ontstaat flexibiliteit en herbruikbaarheid bij product- of installatieveranderingen.

**Modulair en herbruikbaar ontwerp:** Processen worden opgebouwd uit gestandaardiseerde blokken (zoals units, procedures, operations), wat leidt tot kortere ontwikkeltijd en lagere onderhoudskosten.

**Gestandaardiseerd receptbeheer:** De standaard biedt een uniforme structuur voor het beheren van master- en control recipes, wat consistentie, traceerbaarheid en reproduceerbaarheid bevordert.

**Eenduidige communicatie:** Door gebruik te maken van uniforme terminologie en modellen wordt de samenwerking tussen engineering, productie, IT en externe partijen vereenvoudigd.

**Basis voor integratie met hogere systemen:** ISA-88 sluit goed aan op andere standaarden zoals ISA-95 en wordt vaak toegepast in MES-omgevingen.

### 4.4.4 Eerste stappen en meer info

**Bepaal de scope en doelstelling van de implementatie:** Definieer of je ISA-88 wilt toepassen voor procesontwerp, automatisering, receptbeheer of integratie met een MES.

**Analyseer de bestaande productieomgeving:** Breng de fysieke installatie in kaart (units, apparatuur, besturing) en identificeer welke delen geschikt zijn voor een modulaire aanpak.

**Ontwerp het fysieke en procedurele model:** Splits het systeem op in een fysiek model (units, modules) en een procedureel model (procedures, operations, phases).

#### 4.4.5 Voorbeeld use cases

UC2: Dashboarding en KPI berekening

UC6: Recept-gedreven aansturing productielijn

## 4.5 AutomationML

### 4.5.1 Doel van de standaard

AutomationML [14] [15] is een open, XML-gebaseerde standaard voor de gestructureerde uitwisseling van engineeringgegevens in de industriële automatisering. Het doel van deze standaard is om een gemeenschappelijk gegevensformaat te bieden waarmee verschillende engineeringtools en systemen efficiënt en zonder informatieverlies gegevens kunnen uitwisselen, zowel binnen als tussen disciplines. AutomationML ondersteunt de modellering, opslag en uitwisseling van diverse engineeringaspecten — zoals systeemstructuren (topologie), geometrie, kinematica en proceslogica — via een modulaire opbouw met gestandaardiseerde deelformaten zoals CAEX, COLLADA en PLCopen XML. De standaard bevordert interoperabiliteit, voorkomt dubbele invoer en maakt bidirectionele integratie tussen tools mogelijk gedurende de gehele levenscyclus van automatiseringssystemen.

### 4.5.2 Toepassingsgebied

AutomationML wordt toegepast in de industriële automatisering om gegevensuitwisseling mogelijk te maken tussen verschillende engineeringtools en disciplines — zoals mechanisch, elektrisch en besturingsontwerp. De standaard is geschikt voor het modelleren van systeemstructuren, geometrie, kinematica en logica, en ondersteunt toepassingen zoals het configureren van productiesystemen, virtuele inbedrijfstelling en digitale planning. Dankzij de modulaire opbouw met subspecificaties (o.a. CAEX, COLLADA, PLCopen XML) maakt AutomationML consistente, bidirectionele gegevensuitwisseling ("round-trip engineering") mogelijk tussen tools van verschillende leveranciers. Hiermee sluit de standaard goed aan op de behoeften van slimme fabrieken en de interoperabiliteitseisen van Industrie 4.0.

### 4.5.3 Voordelen

**Interoperabiliteit tussen tools en systemen:** Maakt gegevensuitwisseling mogelijk tussen verschillende engineeringapplicaties (bijv. CAD, PLC, robotprogrammering), ongeacht leverancier.

**Ondersteuning voor multidisciplinaire engineering:** Combineert mechanisch ontwerp, elektrische schema's, besturingslogica, geometrie en kinematica in één consistente datastructuur.

**Voorkomt dubbele invoer en dataverlies:** Informatie wordt één keer vastgelegd en hergebruikt in andere tools, wat fouten en inconsistente gegevens voorkomt.

**Bevordert samenwerking tussen afdelingen en leveranciers:** Dankzij standaardisatie kunnen verschillende teams en externe partijen met dezelfde gegevens werken, wat de communicatie en samenwerking verbetert.

### 4.5.4 Eerste stappen en meer info

**Bepaal het doel en de scope:** Definieer helder waarvoor je AutomationML wilt inzetten: bijvoorbeeld gegevensuitwisseling tussen CAD en PLC, ondersteuning van virtuele inbedrijfstelling, of volledige integratie van multidisciplinaire engineering.

**Breng je toolomgeving in kaart:** Inventariseer welke engineeringtools je gebruikt en controleer of ze AutomationML ondersteunen of kunnen koppelen via plugins/exportmodules.

**Leer de basisstructuur van AutomationML kennen:** Maak je vertrouwd met de belangrijkste onderliggende formaten, d.w.z. CAEX, COLLADA, PLCOpen XML.

**Werk samen met leveranciers of integrators:** Betrek toolleveranciers of integratiepartners die ervaring hebben met AutomationML, zeker in de opstartfase.

#### 4.5.5 Voorbeeld use cases

UC3: Tool interoperabiliteit voor CAD/CAM

UC4: MES/ERP integratie

UC6: Recept-gedreven aansturing productielijn

UC7: Autonome productie

## 4.6 Asset Administration Shell (AAS)

### 4.6.1 Doel van de standaard

De Asset Administration Shell (AAS) [16] is een open standaard voor het modelleren van digitale representaties (digital twins) van fysieke producten, machines en andere industriële assets. De AAS biedt een gestructureerde en gestandaardiseerde manier om informatie over en van een asset digitaal vast te leggen. Dit maakt consistente en interoperabele toegang tot assetgegevens mogelijk gedurende de volledige levenscyclus — van het eerste concept en ontwerp tot gebruik, onderhoud en uiteindelijk hergebruik of recycling. Door deze standaardisatie ondersteunt de AAS efficiënte gegevensuitwisseling tussen uiteenlopende systemen en toepassingen. Dit vereenvoudigt integratie, beheer en samenwerking binnen complexe industriële omgevingen en vormt een sleutelcomponent binnen Industrie 4.0-architecturen.

### 4.6.2 Toepassingsgebied

De AAS wordt toegepast in uiteenlopende industrieën waar digitalisering, interoperabiliteit en levenscyclusbeheer van assets centraal staan, waaronder de maakindustrie, de energie-industrie en de logistiek. De standaard maakt het mogelijk om alle relevante informatie over een asset of product, zoals technische gegevens, onderhoudshistorie en prestatie-informatie, digitaal beschikbaar te stellen. Dit is vooral nuttig voor bedrijven die willen overgaan op digitale processen en die meer inzicht willen krijgen in hun assets, waardoor ze beter geïnformeerde beslissingen kunnen nemen.

De AAS-standaard is onderdeel van Industrie 4.0 en bevindt zich nog in actieve ontwikkeling, onder leiding van de Industrial Digital Twin Association (IDTA) [17]. Nieuwe uitbreidingen en concrete use cases worden regelmatig toegevoegd, waardoor de standaard steeds breder toepasbaar en toekomstbestendig wordt.

### 4.6.3 Voordelen

**Verbeterde samenwerking:** De gestandaardiseerde manier van gegevensuitwisseling maakt het gemakkelijker om informatie te delen tussen verschillende systemen en afdelingen.

**Levenscyclusbeheer:** AAS maakt het mogelijk om de levenscyclus van producten en machines te beheren, van ontwerp tot het einde van hun levensduur.

**Interoperabiliteit:** Zorgt voor naadloze communicatie tussen verschillende technologieën en systemen, ongeacht de fabrikant.

**Schaalbaar:** Geschikt voor zowel eenvoudige fysieke componenten als complexe systemen, wat betekent dat de AAS kan worden toegepast in bedrijven van verschillende groottes.

**Toekomstbestendig:** De AAS is implementatie-agnostisch, d.w.z. hij kan onafhankelijk van specifieke technologieën, platforms of leveranciers worden toegepast. Hierdoor blijft de standaard bruikbaar, ook wanneer systemen of infrastructuren in de toekomst veranderen. Bovendien worden er continu nieuwe sector-specifieke submodellen ontwikkeld en toegevoegd, waarmee de standaard eenvoudig kan worden afgestemd op domeinspecifieke behoeften.

#### 4.6.4 Eerste stappen en meer info

**Verdiep je in de basis principes:** Lees in op wat de AAS is, hoe de standaard is opgebouwd (zoals submodellen en de meta-informatie), en wat het doel ervan is binnen Industrie 4.0.

**Identificeer 1 of 2 relevante use cases:** Bepaal waar binnen jouw organisatie digitalisering of interoperabiliteit van assetgegevens gewenst is, bijvoorbeeld in onderhoud, traceerbaarheid, of leveringsketens.

**Bekijk voorbeelden en referentie-implementaties:** Analyseer open source tools of showcases (zoals Eclipse BaSyx [18], AASX Package Explorer [19]) om inzicht te krijgen in hoe een AAS in de praktijk is opgebouwd en gebruikt.

**Inventariseer bestaande standaarden en modellen in je domein:** Bekijk of er al sector-specifieke AAS-submodellen beschikbaar zijn via bronnen zoals de IDTA [20] of jouw brancheorganisatie.

**Bespreek het gebruik van de AAS met je software leveranciers en integrators:** Zo garandeer je dat de technologie en modellen beschikbaar zijn waar je ze wilt gebruiken.

#### 4.6.5 Voorbeeld use cases

UC1: IoT integratie

UC3: Tool interoperabiliteit voor CAD/CAM

UC5: Digital Product Passport

UC7: Autonome productie

## 4.7 ISA-95

### 4.7.1 Doel van de standaard

ISA-95, ook bekend als ANSI/ISA-95 of IEC 62264 [21] [22], is een internationale standaard voor de integratie van bedrijfsinformatiesystemen (zoals ERP) met productiesystemen (zoals MES en SCADA). Het doel van de standaard is om een gestandaardiseerd raamwerk te bieden voor het structureren van functies, informatiemodellen en communicatie tussen de verschillende lagen binnen een productieorganisatie. ISA-95 helpt bij het definiëren van wat er moet worden uitgewisseld (zoals productieorders, materiaalbewegingen, capaciteitsgegevens), en biedt een gemeenschappelijke taal voor systemen van verschillende leveranciers. Door bedrijfs- en productiedata op een consistente manier te modelleren, vereenvoudigt de standaard integratie, verhoogt hij de interoperabiliteit en ondersteunt hij schaalbare, flexibele en toekomstbestendige productieprocessen. Daarnaast introduceert ISA-95 een veelgebruikte equipment hierarchy, die fysieke productieomgevingen hiërarchisch structureert van enterprise tot work unit, en zo een eenduidige basis biedt voor het organiseren van data, rollen en verantwoordelijkheden binnen automatiseringssystemen.

### 4.7.2 Toepassingsgebied

ISA-95 wordt breed toegepast in industriële omgevingen waar productie en bedrijfsvoering effectief moeten worden verbonden, waaronder de automobiel-, luchtvaart-, chemische, farmaceutische en voedingsmiddelenindustrie. De standaard helpt organisaties bij het ontwerpen van schaalbare en interoperabele integratiearchitecturen, onafhankelijk van leveranciers of systemen. ISA-95 ondersteunt zo de overgang naar slimme, datagedreven fabrieken en sluit aan bij de principes van Industrie 4.0.

### 4.7.3 Voordelen

**Verbeterde interoperabiliteit tussen systemen:** Door uniforme informatiemodellen en terminologie kunnen systemen van verschillende leveranciers probleemloos samenwerken.

**Minder maatwerk en lagere integratiekosten:** Dankzij gestandaardiseerde datastructuren (zoals via B2MML of de OPC UA CS voor ISA-95) zijn implementaties sneller en onderhoudsvriendelijker.

**Gestandaardiseerde integratie tussen ERP en MES:** ISA-95 definieert welke informatie uitgewisseld moet worden tussen bedrijfs- en productiesystemen, waardoor integraties minder afhankelijk zijn van maatwerk en specifieke systeemkennis.

**Communicatie tussen IT- en OT-afdelingen:** De standaard biedt een gemeenschappelijk referentiekader voor zowel technische als bedrijfskundige teams.

**Betere traceerbaarheid en dataconsistentie:** Door het gebruik van uniforme datamodellen blijven productiegegevens over systemen heen betrouwbaar en beter te volgen.

### 4.7.4 Eerste stappen en meer info

**Bepaal de integratiedoelstellingen:** Formuleer duidelijk waarom je ISA-95 wilt toepassen — bijvoorbeeld voor ERP–MES-integratie, standaardisatie van informatie-uitwisseling, of als basis voor een MES-selectie.

**Breng je systeemlandschap in kaart:** Inventariseer welke ERP-, MES- en productiesystemen je gebruikt, en waar handmatige of inconsistente gegevensoverdracht plaatsvindt.

**Identificeer relevante informatiestromen en objecten:** Denk aan productieorders, materiaalbewegingen, equipmentstatus of personeelsplanning — en verbind deze aan de ISA-95-informatiemodellen.

**Zorg voor kennisopbouw in het team:** ISA-95 is een brede en veelzijdige standaard die verschillende lagen en informatiemodellen omvat, waardoor een goede basiskennis binnen het team onmisbaar is. Het is daarom verstandig om betrokken IT-, OT- en procesmedewerkers op te leiden in de basisprincipes, zodat iedereen werkt vanuit dezelfde structuur en met uniforme terminologie.

#### 4.7.5 Voorbeeld use cases

UC2: Dashboarding en KPI berekening

UC4: MES/ERP integratie

UC6: Recept-gedreven aansturing productielijn

UC7: Autonome productie

## 4.8 PackML

### 4.8.1 Doel van de standaard

PackML (Packaging Machine Language) [23] [24] [25] is een industriële standaard met als doel het bieden van een gestandaardiseerde structuur voor de besturing en statusrapportage van machines in verpakkings- en productieomgevingen. De standaard introduceert een uniform state model met gedefinieerde machinetoestanden en toestandstransities, waardoor machines van verschillende leveranciers op consistente wijze functioneren, communiceren en gegevens uitwisselen. PackML vergemakkelijkt de integratie van machines in productielijnen, bevordert interoperabiliteit en maakt het eenvoudiger om prestatiegegevens uit machines te verzamelen en door te zetten naar SCADA-, MES- of ERP-systemen. Daarnaast biedt PackML praktische richtlijnen voor onder andere HMI-ontwerpen, stacklight-configuraties en het berekenen van OEE (Overall Equipment Effectiveness), waardoor ook de operationele implementatie wordt gestroomlijnd. De standaard sluit aan op de principes van ISA-88 en is het formeel vastgelegd in het ISA-TR88.00.02 technical report [24]. Daarmee vormt het een solide basis voor modulaire automatisering en Industrie 4.0-toepassingen.

### 4.8.2 Toepassingsgebied

PackML is toepasbaar in elke (discrete) productieomgeving waar behoefte is aan gestandaardiseerde machinebesturing, consistente statusrapportage en soepele integratie met SCADA-, MES- en/of ERP-systemen. De standaard is oorspronkelijk ontwikkeld voor de verpakkingsindustrie, maar vindt inmiddels ook steeds vaker toepassing in andere discrete productieomgevingen, zoals assemblagelijnen, transportsystemen en robotcellen. Dankzij de uniforme structuur en consistente aanpak is PackML breed inzetbaar binnen smart manufacturing, modulaire automatisering en Industrie 4.0-architecturen.

### 4.8.3 Voordelen

**Uniform machinetoestandenmodel:** PackML biedt een gestandaardiseerd state model met vaste machinetoestanden en overgangen, waardoor implementaties begrijpelijk en voorspelbaar worden, ongeacht de leverancier.

**Eenvoudige integratie tussen machines:** Dankzij de uniforme structuur kunnen machines van verschillende merken eenvoudig samenwerken in één productielijn, zonder maatwerk op elke koppelvlaak.

**Consistente HMI en bediening:** Operators herkennen statussen en bedieningsstructuren sneller, omdat de look & feel van HMI's gebaseerd is op dezelfde principes en terminologie.

**Verbeterde data-analyse en OEE-berekening:** Dankzij gestandaardiseerde machinetoestanden en events is het eenvoudiger om stilstanden, cyclustijden en andere KPI's zoals OEE nauwkeurig en automatisch te berekenen.

**Naadloze koppeling met SCADA, MES en/of ERP:** De gestandaardiseerde gegevensstructuur maakt het makkelijker om realtime data door te zetten naar bovenliggende systemen, bijvoorbeeld voor productie monitoring.

### 4.8.4 Eerste stappen en meer info

**Verdiep je in het PackML state model:** begrijp de kern van PackML door vertrouwd te raken met de gestandaardiseerde machinetoestanden (zoals Idle, Running, Held, Aborted) en de toegestane overgangen daartussen.

**Koppel PackML aan HMI's en stacklights:** Gebruik de statussen voor visuele feedback (zoals kleurcodering) en uniforme HMI-weergave, waardoor de bediening herkenbaar en intuïtief

wordt. Dezelfde uniforme definities en weergaves werken ook prima voor de digitale oplossingen zoals dashboards, remote monitoring en mobiele operatorinterfaces.

**Check ondersteuning in bestaande platforms:** Controleer of je PLC-, SCADA- of MES-software PackML (of aanverwante ISA-88-structuren) ondersteunt of een geschikte library biedt.

**Bekijk het aanbod aan implementatierichtlijnen:** Raadpleeg beschikbare richtlijnen en best practices van OMAC en ISA, zoals voorbeelden voor HMI-ontwerp, stacklight-configuraties, tagstructuren en OEE-berekeningen, om een solide en consistente basis te leggen voor je toepassing van PackML.

#### 4.8.5 Voorbeeld use cases

UC1: IoT integratie

UC2: Dashboarding en KPI berekening

## 4.9 G-code

### 4.9.1 Doel van de standaard

G-code [26] is een programmeertaal die wordt gebruikt om CNC-machines (Computer Numerical Control) aan te sturen. De instructies in G-code bepalen onder andere de bewegingen, snelheden, spindlesnelheid, gereedschapswisselingen en andere machinefuncties zoals koelvloeistof of I/O-acties. Het doel van deze taal, zoals formeel gedefinieerd in de standaard ISO 6983 [26] (voorheen RS-274), is om digitale bewerkingsopdrachten in een lijn-voor-lijn formaat te vertalen naar fysieke bewegingen van de machine. Op die manier maakt G-code het mogelijk om digitale ontwerpen (bijvoorbeeld uit CAD/CAM-software) om te zetten in precies gedefinieerde en reproduceerbare bewerkingen op het werkstuk – het materiaal dat wordt bewerkt.

Als opvolger van G-code is STEP-NC (ISO 14649) [27] ontwikkeld, een moderne standaard die proceskennis, bewerkingskenmerken en semantiek integreert in één model. De implementatie in de industrie is echter nog zeer beperkt, met vooral gebruik in onderzoeksomgevingen en proefprojecten.

### 4.9.2 Toepassingsgebied

G-code is toepasbaar in vrijwel elke omgeving waar numeriek gestuurde bewerkingen plaatsvinden. Het vormt de brug tussen digitale ontwerpdata en fysieke uitvoering op het werkstuk. Toepassingen omvatten onder meer CNC-frezen, draaien, boren, lasersnijden, graveren, 3D-printing, en waterstraal- of plasmasnijden. Dankzij de brede ondersteuning in CAM-software en machinebesturingen is G-code nog steeds de meest gebruikte taal voor digitale fabricage.

### 4.9.3 Voordelen

**Reproduceerbare en precieze bewerkingen:** Door vastgelegde coördinaten, snelheden en instellingen kunnen onderdelen keer op keer met hoge nauwkeurigheid worden geproduceerd.

**Breed ondersteund en universeel toepasbaar:** G-code is de industriestandaard voor CNC-besturing en wordt ondersteund door vrijwel alle CNC-machines, 3D-printers en CAM-systemen wereldwijd.

**Compatibel met bestaande CAD/CAM-workflows:** G-code wordt automatisch gegenereerd door vrijwel alle CAM-programma's, maar vereist wel een geschikte post-processor die de output nauwkeurig afstemt op de specifieke machine.

**Handmatig aan te passen en te debuggen:** Operators of technici kunnen G-code-bestanden handmatig bekijken, aanpassen of optimaliseren zonder gespecialiseerde software.

**Geschikt voor uiteenlopende technieken:** G-code wordt gebruikt voor frezen, draaien, boren, slijpen, lasersnijden, graveren, 3D-printen en meer — met dezelfde basisstructuur.

### 4.9.4 Eerste stappen en meer info

**Leer de basiscommando's:** Maak jezelf vertrouwd met veelgebruikte G-codes (G0, G1, G2, G3) en M-codes (M3, M5, M6, etc.) om bewegingen, snelheden en machinefuncties te begrijpen.

**Gebruik CAM-software mét post-processor:** Laat je G-code genereren via CAM-software en zorg dat de juiste post-processor is ingesteld voor jouw specifieke machine of besturing.

**Simuleer voor uitvoering (indien mogelijk):** Voer een virtuele simulatie uit in de CAM-software of in een aparte G-code simulator om fouten te detecteren vóór fysiek gebruik.

**Voer een dry-run of proefbewerking uit:** Test nieuwe G-code op de machine zonder materiaal (dry-run) of op een goedkoop testwerkstuk om te controleren op botsingen, verkeerde dieptes of gereedschapswissels.

**Raadpleeg technische handleidingen:** Lees technische handleidingen en documentatie van je CNC-machine om te begrijpen hoe specifieke G-code opdrachten worden geïmplementeerd en ondersteund.

#### 4.9.5 Voorbeeld use cases

UC3: Tool interoperabiliteit voor CAD/CAM

## 4.10 ISO 22400

### 4.10.1 Doel van de standaard

ISO 22400 [28] is een internationale standaard voor het definiëren, berekenen, interpreteren en uitwisselen van Key Performance Indicators (KPI's) binnen Manufacturing Operations Management (MOM)-omgevingen. Het doel van deze standaard is om een gestandaardiseerd raamwerk te bieden waarmee productieorganisaties hun operationele prestaties betrouwbaar en consistent kunnen meten, analyseren en verbeteren. Door uniforme definities, meetmethodes en tijdsbasis te hanteren, voorkomt ISO 22400 interpretatieverschillen en maakt het systeemafhankelijke prestatievergelijking mogelijk tussen machines, afdelingen of vestigingen. De standaard ondersteunt interoperabiliteit tussen MES-, SCADA- en ERP-systemen, sluit aan op ISA-95, en vormt een fundament voor datagedreven productie en Industrie 4.0-toepassingen.

### 4.10.2 Toepassingsgebied

ISO 22400 is toepasbaar in elke industriële omgeving waar productieprestaties worden gemeten of gerapporteerd. De standaard biedt een consistente basis voor KPI's binnen MES-, SCADA- en ERP-systemen en ondersteunt organisaties bij het nemen van betrouwbare, systeemafhankelijke beslissingen op basis van uniforme prestatiegegevens. De standaard ondersteunt zowel batch-, continue- als discrete productieprocessen.

### 4.10.3 Voordelen

**Eenduidige en gestandaardiseerde KPI-definities:** De standaard voorkomt verwarring over wat bijvoorbeeld OEE, beschikbaarheid of cyclustijd precies betekenen, waardoor discussies over cijfers afnemen.

**Systeemafhankelijke prestatievergelijking:** KPI's kunnen uniform worden toegepast en vergeleken tussen verschillende machines, lijnen, afdelingen of zelfs vestigingen — ongeacht het gebruikte MES- of SCADA-systeem.

**Betere basis voor dashboards en besluitvorming:** Door consistent gemeten KPI's ontstaat betrouwbare input voor dashboards, optimalisatie en managementrapportages.

**Ondersteuning van interoperabiliteit:** ISO 22400 sluit aan op andere standaarden zoals ISA-95 en OPC UA.

### 4.10.4 Eerste stappen en meer info

**Bepaal welke KPI's relevant zijn voor jouw organisatie:** Begin met kernindicatoren zoals OEE, beschikbaarheid, kwaliteit of doorlooptijd, afgestemd op je bedrijfsdoelstellingen.

**Bestudeer de ISO 22400-structuur en definities:** Maak je vertrouwd met de formele beschrijvingen, begrippen en meetregels om verwarring over interpretatie te voorkomen.

**Kies een pilotlijn of afgebakende use case:** Start klein met één productielijn of installatie en test daar het verzamelen en berekenen van 1–3 KPI's op basis van de standaard.

**Ontwikkel een mappingschema:** Leg vast hoe jouw lokale data (zoals stilstandcodes, batchinformatie, logbestanden) worden gekoppeld aan de datamodellen van ISO 22400.

**Gebruik eenduidige tijdsmodellen:** Consistente tijdsbasis is cruciaal voor vergelijkbaarheid van KPI's zoals OEE of bezettingsgraad.

**Raadpleeg technische handleidingen:** De brondata van machines, PLC's of MES-systemen kan verschillende betekenissen of structuren hebben; raadpleeg documentatie en leveranciersspecificaties om correcte interpretatie van statussen, codes en tijdregistraties te garanderen.

#### 4.10.5 Voorbeeld use cases

UC2: Dashboarding en KPI berekening

## 4.11 CEN-CENELEC JTC24

### 4.11.1 Doel van de standaard

Omdat Digitale Product Paspoorten (DPPs) voor verschillende sectoren relevant zijn, en deze sectoren onderling interoperabel moeten zijn is er de behoefte aan een cross sectorale, overkoepelende, standaard. JTC24 van CEN-CENELEC [29], met de Normcommissie Digitaal Product Passport van de NEN [30] als Nederlands aanspreekpunt hiervan ontwikkeld deze overkoepelende standaard.

Het doel van deze standaard is het technische systeem, en de sector agnostische semantiek (bijvoorbeeld hoe een product te identificeren) te definiëren. Het zal niet ingaan op sectorspecifieke eisen of eigenschappen.

### 4.11.2 Toepassingsgebied

Op dit moment is de standaard nog in ontwikkeling, en zijn er nog geen domeinen waar deze al wordt toegepast. De standaard beperkt zich tot de ESPR-wetgeving, waardoor het wel DPPs zal standaardiseren maar zal geen uitspraak doen over daaraan gerelateerde toepassingen zoals duurzaamheid rapportages. Ook valt wetgeving zoals de “battery regulation” waarin DPPs voor batterijen worden vereist buiten de scope van deze standaard.

### 4.11.3 Eerste stappen en meer info

De publicatie van JTC 24 is gedurende 2025 uitgesteld, waardoor er op dit moment nog geen standaard beschikbaar is. Deze wordt in maart 2026 gepubliceerd. Tot dan kan input worden gegeven. Dit kan door actief bij te dragen aan het standaardisatie proces. Vanuit Nederland wordt deze bijdrage gecoördineerd door de NEN [30].

Op basis van de publieke consultatie van JTC24 lijkt het erop dat deze standaard zich zal beperken tot een hoog abstractieniveau welke meer handvatten geeft aan de wetgeving rondom DPPs, maar slechts beperkt bruikbaar is om tot specifieke implementaties over te gaan.

### 4.11.4 Voorbeeld use cases

UC5: Digital Product Passport

## 4.12 MQTT

### 4.12.1 Doel van de standaard

MQTT [31] [32] is een open, lichtgewicht publish/subscribe-communicatieprotocol dat is ontworpen voor betrouwbare en efficiënte gegevensuitwisseling over TCP/IP-netwerken. Het doel van MQTT is om bi-directionele data-uitwisseling mogelijk te maken tussen gedistribueerde systemen op een manier die bandbreedte-efficiënt, schaalbaar en robuust is, ook in situaties met beperkte systeembronnen (zoals batterij levensduur) en beperkte netwerkcapaciteit.

MQTT introduceert een broker-gebaseerd communicatiemodel, waarbij dataproducers (publishers) en dataconsumenten (subscribers) volledig van elkaar zijn ontkoppeld. Berichten worden gepubliceerd op zogenaamde topics, waarop andere systemen zich kunnen abonneren met variabele niveaus van leveringsgarantie (Quality of Service). Hierdoor maakt MQTT asynchrone en event-gedreven communicatie mogelijk zonder directe punt-tot-puntkoppelingen.

Hoewel MQTT de uitwisseling van berichten standaardiseert, schrijft het protocol zelf geen datamodel voor. Zowel de payload (bijvoorbeeld JSON, XML, Protobuf of binair) als de topic-structuur en -naamgeving worden niet voorgeschreven. Dat maakt MQTT zeer flexibel, maar betekent tegelijk dat betekenis en interpretatie van data pas ontstaat door aanvullende afspraken.

In industriële omgevingen leggen organisaties daarom doorgaans een eigen set conventies vast voor het gebruik van MQTT. Denk aan topic-hiërarchieën en -naamgeving, berichttypen, en de modellering van states, events en bijbehorende metadata (zoals eenheden en context). Deze conventies worden in moderne industriële data-architecturen steeds vaker hiërarchisch opgezet, met name wanneer MQTT als basis dient voor een Unified Namespace (Hoofdstuk 4.13).

Wanneer men deze afspraken liever niet volledig zelf wil uitwerken, kan men ervoor kiezen een bestaand profiel te volgen (bijvoorbeeld Sparkplug B) om topic- en payloadconventies te standaardiseren en daarmee interoperabiliteit tussen componenten en leveranciers te vergroten. Juist de combinatie van minimale overhead, robuuste publish/subscribe-ontkoppeling en eenvoudige schaalbaarheid heeft MQTT tot de de facto standaard gemaakt voor IoT/IIoT, en in het bijzonder voor de koppeling tussen industriële netwerken (OT) en cloudplatformen.

### 4.12.2 Toepassingsgebied

MQTT is toepasbaar in industriële automatiserings- en IIoT-omgevingen waar gedistribueerde systemen efficiënt en schaalbaar berichten moeten uitwisselen via publish/subscribe. Het wordt veel gebruikt voor telemetrie, status- en alarmmeldingen, condition monitoring en het ontsluiten van OT-data richting SCADA/MES, data platforms en cloudservices. MQTT is inzetbaar in batch-, continue- en discrete productieomgevingen, zowel on-premise (edge/plant) als voor OT-cloud-koppelingen. Voor hard real-time, deterministische besturing is MQTT doorgaans niet bedoeld.

### 4.12.3 Voordelen

**Lage overhead en efficiënt:** MQTT is lichtgewicht en geoptimaliseerd voor bandbreedte- en resource-efficiëntie. Dit maakt het geschikt voor grote aantallen devices en edge-toepassingen, ook bij minder stabiele verbindingen.

**Ontkoppelde event-gedreven integratie:** Publishers en subscribers communiceren indirect via de broker. Dit voorkomt fragiele punt-tot-punt koppelingen en maakt uitbreiden of wijzigen eenvoudiger. Data wordt gepubliceerd bij veranderingen of gebeurtenissen. Hierdoor is polling niet nodig en worden notificaties en respons op events sneller en efficiënter.

**Configureerbare leveringsgaranties (QoS):** Per topic kan een passend QoS-niveau worden gekozen, van “best effort” tot gegarandeerde aflevering. Hiermee kan betrouwbaarheid worden afgestemd op het belang van de boodschap (bijv. telemetrie versus alarmsignalen).

**Eenvoudige schaalbaarheid:** Nieuwe publishers en subscribers kunnen worden toegevoegd zonder bestaande koppelingen te wijzigen. Dankzij flexibele broker-topologieën (edge, centraal of cloud) schaaft MQTT eenvoudig van plantniveau naar multi-site omgevingen en OT-IT/cloud toepassingen.

**Vrijheid in datamodellering:** MQTT standaardiseert het transport, maar laat topics, payload en semantiek open. Dat biedt maximale vrijheid voor de implementatie, maar vereist ook dat conventies, definities en governance expliciet worden vastgelegd en beheerd om wildgroei en interpretatieverschillen te voorkomen. Omdat MQTT geen domeinmodel of herbruikbare objectmodellen meelevert, kan men bovendien minder direct leunen op bestaande informatiemodellen en best practices.

#### 4.12.4 Eerste stappen en meer info

**Bepaal het doel en de scope van MQTT-gebruik:** Gaat het om het ontsluiten van een beperkt aantal devices, het opzetten van een centrale single source of truth (bijvoorbeeld via Unified Namespaces), OT-cloud ontsluiting, of integratie tussen applicaties? Dit bepaalt onder meer eisen aan betrouwbaarheid, latency en datavolume.

**Breng datastromen en systemen in kaart:** Inventariseer welke machines, PLC's, SCADA-, MES- en ERP-systemen en overige applicaties data produceren of consumeren, en hoe die data nu wordt uitgewisseld.

**Ontwerp topic-structuur en dataconventies:** Definieer een consistente topic-hiërarchie, naamgeving, berichttypen en metadata (bijv. eenheden en context). Overweeg een hiërarchische opzet zoals in Unified Namespaces. Een MQTT integratie organisch/ad-hoc laten groeien wordt afgeraden, omdat dit integraties fragiel maakt (extra uitzonderingen en mappings bij consumers), troubleshooting vertraagt (onduidelijke herkomst/betekenis van data) en refactors kostbaar en risicovol maakt (wijzigingen raken veel producers en consumers tegelijk).

**Kies brokerarchitectuur en QoS-strategie:** Bepaal waar brokers draaien (edge, centraal of cloud), definieer per datastroom de vereiste aflevergarantie (QoS), sessiegedrag en persistency/retentie, en leg eenduidige afspraken vast voor retained messages en “Last Will and Testament”.

**Borg beveiliging en beheer:** Richt authenticatie/authorisatie (per topic), TLS, certificaatbeheer, logging en monitoring in. Leg versies, schema's en contracten vast zodat wijzigingen beheerst kunnen worden uitgerold.

#### 4.12.5 Voorbeeld use cases

UC1: IoT integratie

UC2: Dashboarding en KPI berekening

UC4: MES/ERP integratie

## 4.13 Unified Namespace (UNS)

### 4.13.1 Doel van de standaard

Unified Namespace (UNS) [32] [33] is een architectuurconcept voor een centrale, realtime informatielaag binnen industriële omgevingen. Data uit machines, sensoren, systemen en applicaties wordt daarbij via één gedeelde, gestructureerde namespace (naamgevingsruimte) gepubliceerd en hergebruikt. Het gaat daarbij niet alleen om OT-data (zoals sensor- en machinedata), maar ook om informatie uit hogere lagen, zoals MES- en ERP-systemen. Een namespace is een hiërarchische structuur voor het benoemen en ordenen van informatie (bijv. bedrijf > fabriek > lijn > machine > sensor), zodat gegevens eenduidig vindbaar en interpreteerbaar zijn.

Het doel van een UNS is om informatie uit verschillende bronnen op een organisatiebreed consistente manier beschikbaar te stellen, zodat systemen en gebruikers op een uniforme wijze toegang krijgen tot actuele informatie. De aanpak richt zich daarbij expliciet op het loskoppelen van systemen. In plaats van fragiele punt-tot-puntintegraties wordt informatie via publish/subscribe gedeeld, waardoor versnipperde, applicatie-specifieke koppelingen en daarmee het ontstaan van informatiesilo's worden tegengegaan. Hierdoor kunnen nieuwe applicaties, services of use cases worden toegevoegd zonder bestaande koppelingen te wijzigen en blijft de integratie beter schaalbaar.

Binnen de UNS-benadering wordt dit principieel opgezet als een event-gedreven architectuur volgens het principe van report-by-exception. Data wordt gepubliceerd wanneer een relevante verandering of gebeurtenis optreedt, in plaats van via periodieke polling of bulk-synchronisaties. Dit reduceert onnodige datastromen, ondersteunt snellere notificatie en respons, en sluit aan bij het idee van een actuele, gedeelde informatielaag. Technisch wordt dit vaak gerealiseerd via een broker-gebaseerd publish/subscribe-model (bijv. MQTT, zie hoofdstuk 4.12), waarbij de hiërarchische indeling regelmatig wordt uitgelijnd met referentiemodellen zoals ISA-95 of ISA-88 (zie hoofdstuk 4.7 en 4.4 respectievelijk).

Hoewel de term Unified Namespace inmiddels breed wordt toegepast, betreft het geen formele industriestandaard, maar een praktijkgerichte benadering voor moderne OT/IT-integratie. Een UNS helpt organisaties om informatiesilo's te doorbreken en realtime data organisatiebreed beschikbaar te stellen als een gedeelde bron van waarheid. Door systemen te ontkoppelen via een gedeelde informatielaag kan bovendien beter met vendor lock-in worden omgegaan, omdat data en integraties minder aan één leverancier of platform gebonden zijn. Deze combinatie van effecten zorgt ervoor dat UNS in toenemende mate wordt toegepast als bouwsteen voor schaalbare Industrie 4.0-architecturen.

### 4.13.2 Toepassingsgebied

UNS is toepasbaar in moderne industriële automatiseringsomgevingen waar meerdere systemen, databronnen en gebruikers op een consistente, realtime en schaalbare manier toegang moeten hebben tot productie- en bedrijfsgegevens. Het concept is breed inzetbaar in situaties waarin interoperabiliteit, standaardisatie en gegevensdeling centraal staan, zowel voor OT-informatie (bijv. machine- en sensordata) als voor IT/enterprise-informatie uit systemen zoals MES en ERP. UNS ondersteunt zowel batch-, continue- als discrete productieprocessen en is toepasbaar in complexe plant-specifieke topologieën en configuraties.

#### 4.13.3 Voordelen

**Centrale “bron van waarheid” voor alle systemen:** Alle realtime en historische gegevens worden georganiseerd in één gestructureerde namespace, waardoor systemen, gebruikers en applicaties werken met dezelfde actuele en consistente informatie.

**Elimineert punt-tot-punt integraties:** In plaats van losse, kwetsbare koppelingen tussen systemen biedt een UNS een schaalbare en onderhoudsvriendelijke manier om data te delen via publish/subscribe-principes. Elk systeem kan onafhankelijk functioneren, waardoor upgrades of wijzigingen zonder verstoringen mogelijk zijn.

**Flexibel en technologie-onafhankelijk:** Een UNS is gebaseerd op open technologieën zoals MQTT, waardoor het platformonafhankelijk en eenvoudig te integreren is met zowel legacy als moderne systemen.

**Betere samenwerking tussen OT en IT:** OT-gegevens worden gestroomlijnd aangeboden aan IT- en businesssystemen, wat de integratie tussen fabrieksvloer en bedrijfsvoering vereenvoudigt.

**Schaalbaar zonder herstructurering:** Nieuwe machines, productielijnen of applicaties kunnen eenvoudig worden toegevoegd aan de namespace zonder impact op bestaande koppelingen.

**Real-time inzicht:** Alle gegevens zijn direct beschikbaar, wat cruciaal is voor monitoring, probleemoplossing en procesoptimalisatie.

**Minder vendor lock-in:** Doordat data en integraties via een gedeelde informatielaag worden ontsloten, kunnen nieuwe functionaliteiten herbruikbaar worden opgebouwd op basis van bestaande datastromen, in plaats van telkens vanaf scratch binnen één platform of leverancier te moeten ontwikkelen.

#### 4.13.4 Eerste stappen en meer info

Aangezien UNS en MQTT vaak samen worden gebruikt, vormen onderstaande richtlijnen een uitbreiding op de praktische MQTT-richtlijnen in hoofdstuk 4.12 (zoals brokerselectie, topicconventies en security).

**Bepaal de doelstelling van de UNS in jouw context:** Denk na over wat je wilt bereiken: realtime inzicht, systeemintegratie, dashboarding, oplossen vendor lock-in of datagedreven onderhoud?

**Ontwerp een logische namespace-structuur:** Gebruik hiërarchieën gebaseerd op bijvoorbeeld ISA-95 (site > area > line > machine > tag) om overzicht en consistentie te waarborgen.

**Gebruik bestaande standaarden waar mogelijk (bijv. ISA-95, PackML):** Dit verhoogt interoperabiliteit en maakt de namespace begrijpelijk voor andere systemen of leveranciers.

**Begin met OT datastromen:** Start met het ontsluiten van de meest waardevolle OT-bronnen en publiceer deze eerst consistent in de namespace. Dit levert snel inzicht op en vormt een stabiele basis om later MES- en ERP-informatie gecontroleerd toe te voegen.

**Werk vraaggestuurd en probleemgedreven:** Richt de UNS op concrete use cases in plaats van alle data in één keer te modelleren. Leg vast welke informatie nodig is, wanneer deze nodig is en in welke vorm/context deze dient te worden aangeboden.

#### 4.13.5 Voorbeeld use cases

UC1: IoT integratie

UC2: Dashboarding en KPI berekening

UC4: MES/ERP integratie

UC7: Autonome productie

## 4.14 Sparkplug B

### 4.14.1 Doel van de standaard

Sparkplug B [34] is een open industriële communicatiestandaard die het gebruik van het MQTT-protocol uitbreidt voor toepassingen binnen industriële automatisering. Het doel van Sparkplug B is om gestandaardiseerde, interoperabele en state-aware datacommunicatie mogelijk te maken tussen industriële edge devices, gateways en backend-systemen zoals SCADA, MES of cloudplatformen. Waar MQTT zelf uitsluitend het transportmechanisme definieert, specificeert Sparkplug B wát er wordt verzonden, in welke structuur, en hoe de toestand (state) van apparaten wordt beheerd.

Sparkplug B hanteert een strikte en voorgeschreven topic-hiërarchie, waarmee eenduidig wordt vastgelegd hoe berichten binnen MQTT worden gepubliceerd en geabonneerd. Deze hiërarchie is gebaseerd op een connectiviteits- en topologiegerichte benadering, waarin data wordt georganiseerd rond edge nodes, devices en gateway-aggregatiepunten. In tegenstelling tot functionele asset-hiërarchieën (zoals ISA-95), weerspiegelt Sparkplug B primair de logische netwerkstructuur en communicatiearchitectuur, en niet direct de fysieke of procesmatige indeling van de fabriek.

In de praktijk wordt Sparkplug B meestal geïmplementeerd via een edge device of gateway die data verzamelt uit het veld (bijv. via Modbus, OPC UA of digitale I/O) en deze vertaald naar Sparkplug B-berichten. De combinatie van vaste topicstructuren en binaire payloads (Protocol Buffers) maakt Sparkplug B zeer efficiënt en robuust voor machine-naar-machine-communicatie, maar heeft als gevolg dat Sparkplug B-topics en payloads voor mensen nauwelijks leesbaar of intuïtief te volgen zijn zonder gespecialiseerde tooling.

Doordat Sparkplug B vendor-agnostisch is en geen aannames doet over specifieke hardware of software, kunnen apparaten en systemen van verschillende leveranciers betrouwbaar en consistent met elkaar communiceren binnen één MQTT-infrastructuur.

### 4.14.2 Toepassingsgebied

Sparkplug B wordt ingezet in industriële omgevingen waar real-time communicatie nodig is tussen edge devices, gateways en centrale systemen zoals SCADA, MES of cloudplatformen. De standaard wordt vaak gebruikt in situaties waar systemen van verschillende leveranciers via MQTT met elkaar moeten communiceren. Daarnaast is de standaard geschikt voor brownfield-omgevingen, waar bestaande infrastructuren stapsgewijs worden uitgebreid met moderne, data-gedreven toepassingen zonder dat volledige vervanging nodig is.

### 4.14.3 Voordelen

**Gestandaardiseerde datacommunicatie via MQTT:** Sparkplug B voegt structuur toe aan het MQTT-protocol, zodat systemen niet alleen data kunnen verzenden, maar ook begrijpen wat die data betekent.

**Betrouwbaar statusbeheer:** Sparkplug B biedt een gestandaardiseerd mechanisme voor het beheren van de status van edge nodes en applicaties. Dit zorgt ervoor dat de centrale applicatie altijd op de hoogte is van de actuele status van alle verbonden apparaten, wat cruciaal is voor real-time monitoring en controle.

**Vendor-agnostisch:** De standaard werkt onafhankelijk van leveranciers en systemen, waardoor apparaten van verschillende merken probleemloos met elkaar kunnen communiceren.

**Geschikt voor brownfield-omgevingen:** Sparkplug B kan relatief eenvoudig worden toegevoegd aan bestaande infrastructuur via gateways, zonder grote wijzigingen aan bestaande systemen.

**Efficiënte gegevensoverdracht:** Sparkplug B maakt gebruik van een compact binair formaat voor het coderen van data, wat zorgt voor snelle en bandbreedte-efficiënte communicatie, ook in netwerken met beperkte capaciteit.

**Realtime en schaalbaar:** Sparkplug B is ontworpen voor realtime toepassingen en profiteert van de schaalbaarheid van MQTT, waardoor het eenvoudig kan worden opgeschaald naar grote aantallen apparaten zonder centrale knelpunten of complex beheer.

#### 4.14.4 Eerste stappen en meer info

**Bepaal je use case(s):** Kijk waar in je organisatie behoefte is aan gestandaardiseerde, vendor-onafhankelijke en state-aware communicatie. Bijvoorbeeld voor het ontsluiten van sensorgegevens of het koppelen van edge devices aan SCADA/cloud.

**Controleer je infrastructuur:** Onderzoek of je al gebruikmaakt van MQTT en welke apparaten/gateways je momenteel inzet. Sparkplug B werkt vaak via een edge device of gateway, dus kijk of deze al geschikt is of geschikt gemaakt kan worden.

**Selecteer een MQTT broker:** Een MQTT-broker met expliciete Sparkplug B-ondersteuning is essentieel voor een correcte en stabiele implementatie. Configureer de verbinding en beveiligingsparameters, aangezien de broker fungeert als een centrale hub voor berichtuitwisseling.

**Evalueer foutafhandeling en reconnect gedrag:** Test hoe het systeem reageert op uitval van apparaten of netwerk, en hoe reconnects en birth/death updates worden afgehandeld.

**Gebruik bestaande tools:** Maak gebruik van open source tools en referentie-implementaties om de configuratie en implementatie te vergemakkelijken.

#### 4.14.5 Voorbeeld use cases

UC1: IoT integratie

## 4.15 ISO/IEC 81346

### 4.15.1 Doel van de standaard

De ISO/IEC 81346 standaard introduceert een referentiegegevenssysteem (RDS) voor producten. De standaard heeft als doel om de structuur en naamgeving binnen simpele en complexe systemen eenduidig vast te leggen.

### 4.15.2 Toepassingsgebied

ISO/IEC 81346 kan worden toegepast tijdens verschillende fases van de levenscyclus van een product. De standaard wordt met name gebruikt tijdens het engineeringsproces om de structuur van producten te definiëren volgens een hiërarchie. Daarnaast wordt de standaard ingezet om de naamgeving van onderdelen systematisch te kunnen benoemen op basis van hun locatie en type.

### 4.15.3 Voordelen

**Interdisciplinaire taal voor producten:** Een eenduidige naamgeving maakt het makkelijker om interdisciplinair met een product te werken.

**Voorspelbare verdeling en structuur onderdelen:** De standaard maakt het mogelijk om producten onder te verdelen in een hiërarchische structuur.

**Eenvoudig locatie onderdeel vinden:** De systematische naamgeving wijst terug op de structuur van het product, waardoor uit de naam van een onderdeel af te leiden is waar deze zich bevindt.

### 4.15.4 Eerste stappen en meer info

**Inventariseer bestaande ondersteuning:** Veel CAD-tools ondersteunen de ISO/IEC 81346 standaard al. Het implementeren van deze standaard kan een kwestie zijn van het aanzetten van een configuratieoptie.

**Bedenk welke naamgeving gewenst is:** De naamgeving volgens ISO/IEC 81346 kan voor complexe producten lastig leesbaar worden. Soms kan het handiger zijn om de standaard gedeeltelijk te implementeren in plaats van volledig. Het deels implementeren van een standaard heeft wel als nadeel dat de interoperabiliteit wordt beperkt.

**Training:** Het invoeren van een nieuwe naamgeving vereist een verandering in gedrag. Zorg dat het personeel bekend is met de standaard, zodat de naamgeving overal consistent wordt gebruikt.

### 4.15.5 Voorbeeld use cases

UC3: Tool interoperabiliteit voor CAD/CAM

## 5 Referenties

- [1] NEXTGEN hightech, TNO, „SI05 report D8.1: Industry 4.0 definition,” 2025.
- [2] PIANOo - Expertisecentrum aanbesteden, „Open Standaarden,” 15 June 2024. [Online]. Available: <https://www.pianoo.nl/nl/sectoren/ict/inkopen-van-ict/open-standaarden>. [Geopend 21 April 2025].
- [3] MESA, „Smart Manufacturing - The Landscape Explained,” MESA International, 2016.
- [4] Commission, European, „Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC (Text with EEA relevance),” 28 7 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng>. [Geopend 17 4 2025].
- [5] Ketenstandaard, „Digitaal Productpaspoort Sjabloon,” Ketenstandaard, [Online]. Available: <https://ketenstandaard.nl/digitaal-productpaspoort-sjabloon/>. [Geopend 17 4 2025].
- [6] European Commission, „ESPR and Energy Labelling Working Plan 2025-30,” 16 4 2025. [Online]. Available: [https://environment.ec.europa.eu/document/5f7ff5e2-eb9-4bd4-a139-db881bd6398f\\_en](https://environment.ec.europa.eu/document/5f7ff5e2-eb9-4bd4-a139-db881bd6398f_en). [Geopend 17 4 2025].
- [7] NEXTGEN hightech, TNO, „SI05 report D1.1: Towards an Autonomous Factory,” 2025.
- [8] OPC Foundation, „Unified Architecture,” 23 December 2024. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>. [Geopend 14 April 2025].
- [9] OPC Foundation, „List of Companion Specs,” 2025. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/developer-tools/documents/?type=Specification>. [Geopend 18 April 2025].
- [10] ISO, „ISO 10303-1:2024(en), Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 1: Overview and fundamental principles,” January 2024. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10303:-1:ed-3:v1:en>. [Geopend 14 April 2025].
- [11] M. J. Pratt, „Introduction to ISO 10303 - the STEP Standard for Product Data Exchange,” *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 1, nr. 1, pp. 102-103, 2001.
- [12] ISO, „ISO 23247-1:2021(en), Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles,” October 2021. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:23247:-1:ed-1:v1:en>. [Geopend 14 April 2025].
- [13] IEC, „IEC 61512-1: Batch control - Part 1: Models and terminology,” 1997. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/en/publication/5528>. [Geopend 18 April 2025].

- [14] IEC, „IEC 62714: Engineering data exchange format for use in industrial automation systems engineering - Automation Markup Language,” 2018. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/en/publication/32339>. [Geopend 18 April 2025].
- [15] AutomationML, „AutomationML specifications,” 2022. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>. [Geopend 18 April 2025].
- [16] IEC, „IEC 63278-1: Asset Administration Shell for industrial applications - Part 1: Asset Administration Shell structure,” 2023. [Online]. [Geopend 18 April 2025].
- [17] IDTA, „Industrial Digital Twin Association,” 2025. [Online]. Available: <https://industrialdigitaltwin.org/en/>. [Geopend 18 April 2025].
- [18] Eclipse Foundation, „Eclipse Basyx,” 2025. [Online]. Available: <https://eclipse.dev/basyx/>. [Geopend 18 April 2025].
- [19] Eclipse Foundation, „Eclipse AASX Package Explorer,” 2025. [Online]. Available: <https://github.com/eclipse-aaspe/package-explorer>. [Geopend 18 April 2025].
- [20] IDTA, „AAS Submodel Templates,” 2025. [Online]. Available: <https://industrialdigitaltwin.org/en/content-hub/submodels>. [Geopend 18 April 2025].
- [21] IEC, „IEC 62264: Enterprise-control system integration,” 2013. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/57308.html>. [Geopend 18 April 2025].
- [22] D. B. Biance Scholten, The road to integration: A Guide to Applying the ISA-95 Standard in Manufacturing, 2nd edition, International Society of Automation, 2023.
- [23] OMAC, „PackML,” 2024. [Online]. Available: <https://www.omac.org/packml>. [Geopend 18 April 2025].
- [24] ISA, „ISA-TR88.00.02-2022, Machine and Unit States: An implementation example of ISA-88.00.01,” 2022. [Online]. Available: <https://www.isa.org/products/isa-tr88-00-02-2022-machine-and-unit-states-an-imp>. [Geopend 18 April 2025].
- [25] OPC Foundation, „OPC 30050: PackML - Packaging Control,” 2020. [Online]. Available: <https://reference.opcfoundation.org/PackML/v101/docs/>. [Geopend 18 April 2025].
- [26] ISO, „ISO 6983-1: Automation systems and integration — Numerical control of machines — Program format and definitions of address words,” 2009. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/34608.html>. [Geopend 18 April 2025].
- [27] ISO, „ISO 14649: Industrial automation systems and integration — Physical device control — Data model for computerized numerical controllers,” 2003. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/34743.html>. [Geopend 18 April 2025].
- [28] ISO, „ISO 22400: Automation systems and integration — Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management,” 2014. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/56847.html>. [Geopend 18 April 2025].

- [29] CEN CENELEC, „European standardization website,” 2025. [Online]. Available: <https://www.cencenelec.eu/>. [Geopend 18 April 2025].
- [30] NEN, „Digital Product Passports,” 2025. [Online]. Available: <https://www.nen.nl/digital-product-passports>. [Geopend 18 April 2025].
- [31] ISO/IEC, „ISO/IEC 20922: Information technology — Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) v3.1.1,” 2016. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/69466.html>. [Geopend December 2025].
- [32] HiveMQ, „What is a Unified Namespace,” 2022. [Online]. Available: <https://www.hivemq.com/blog/what-is-unified-namespace-uns-iiot-industry-40/>. [Geopend 18 April 2025].
- [33] Inductive Automation, „UNS: Unified Namespace: What Is A UNS And How Does It Work?,” 2025. [Online]. Available: <https://inductiveautomation.com/resources/article/uns-unified-namespace>. [Geopend 18 April 2025].
- [34] Eclipse Foundation, „The Sparkplug Specification,” 2022. [Online]. Available: <https://sparkplug.eclipse.org/specification/>. [Geopend 18 April 2025].
- [35] OASIS, „MQTT Version 5.0,” 7 March 2019. [Online]. Available: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html>. [Geopend December 2025].