

Accelerating the energy transition with modular building (PLE)

Jelena Marincic, TNO
11 December 2025

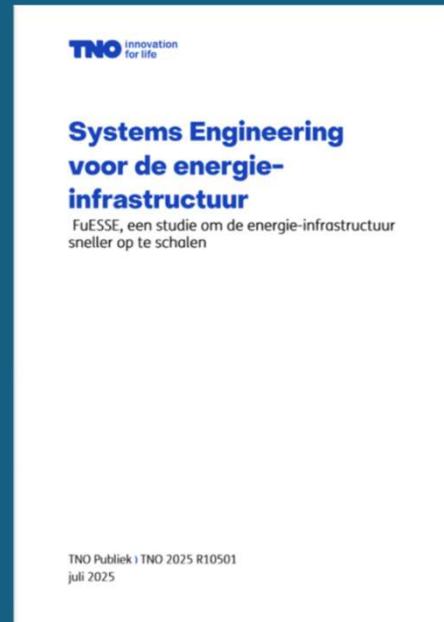
11 dec 2025
Digital Energy Systems 2025

TNO innovation
for life



FuESSE: A joint study with grid operators and TNO

Teun Hendriks,
Jelena Marincic,
Jacques Verriet,
Rob Ekkel
Bas Huijbrechts



TNO innovation
for life



©ASML



ASML machine, an example of a high-tech system

Tennet



Station Nederweert 150 kV (Tennet), an example of energy (sub-) system

From a systems engineering perspective...

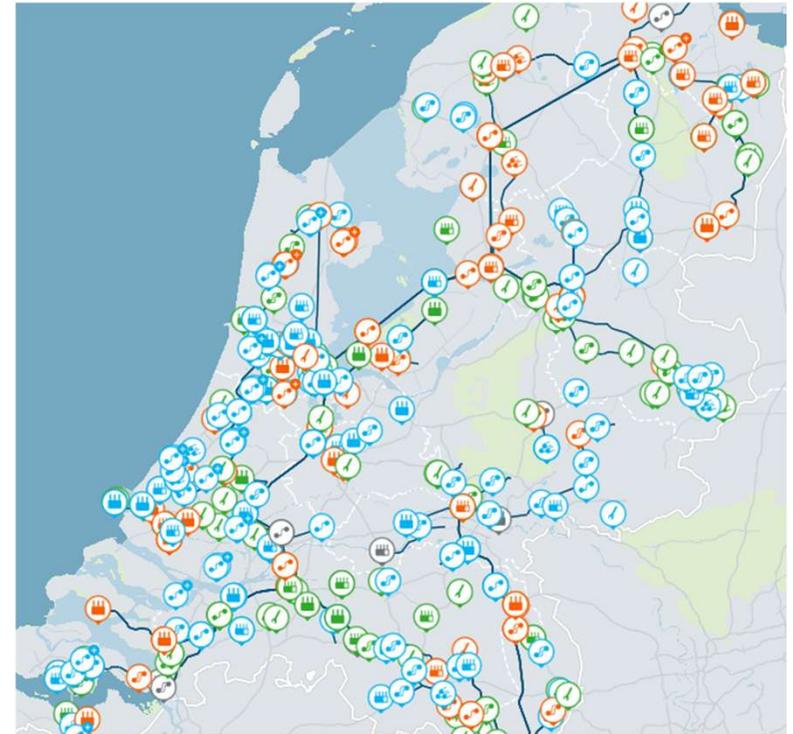
WHAT DOES A HIGH-TECH SYSTEM HAVE IN COMMON WITH A (FUTURE) ENERGY SYSTEM?

› DELIVER AT SPEED TO MEET MARKET DEMANDS

- › Short time-to-market
- › Innovate faster with the same number of people



©ASML



TenneT building challenge

“We can no longer afford to work at a
‘bottleneck by bottleneck’ pace”

- Do 3 times more work with twice as fast project execution
- Expanding infrastructure at 350 locations in NL

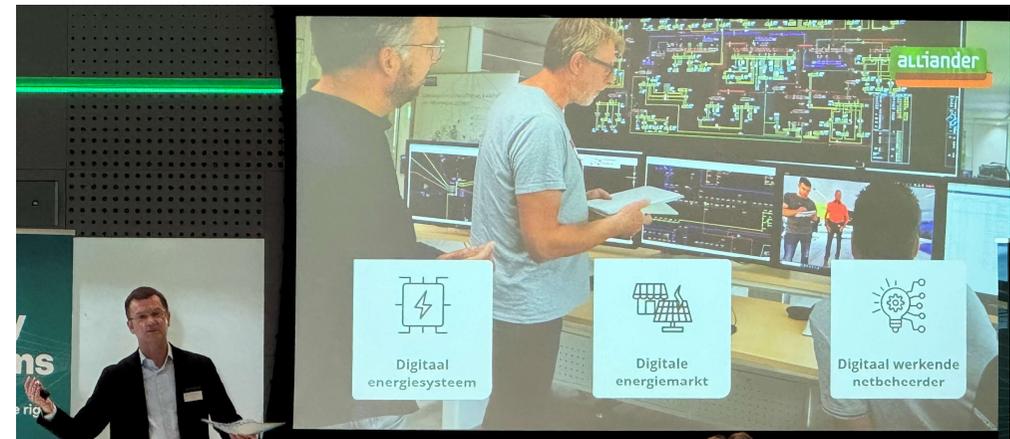
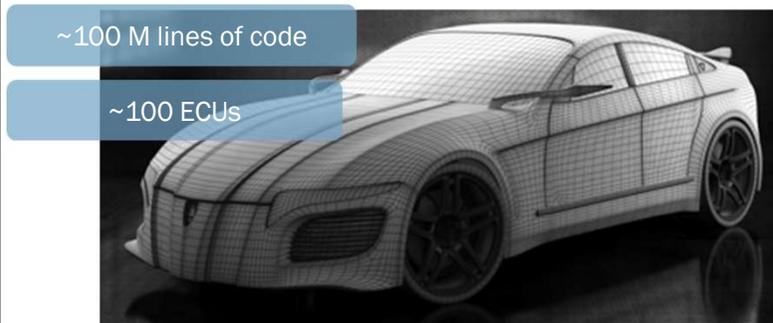
› LACK OF SKILLED LABOUR

Visie 2030: 'Meer met Minder'

Het zijn de grote transitie op het gebied van energie, gezondheid, voedsel, water en veiligheid die essentieel zijn voor onze brede welvaart in de komende decennia. Daar hebben we voldoende mensen met de juiste skills voor nodig. De missie die wij hebben opgesteld voor human capital luidt dan ook: in 2030 kunnen we in Nederland met de beschikbare beroepsbevolking zorgen voor de ontwikkeling en toepassing van baanbrekende oplossingen die nodig zijn voor Nederland als klimaatbestendig, water-robust, duurzaam, gezond en veilig innovatieland.

› DIGITALIZATION FROM ELECTROMECHANICAL TO SOFTWARE-DRIVEN

- › Modern machines are software-driven
 - › Need frequent upgrades
 - › (Cyber) resilience essential
- › With digitalization there will be frequent upgrades,
 - › Lifecycle (asset) management
 - › (Cyber) resilience essential



Credit: Rinke van de Rhee (keynote this morning)

FOCUS OF THIS TALK IN THE CONTEXT OF GRID EXPANSION

Main question: How can **Systems Engineering methodologies** help improve modular building efforts?

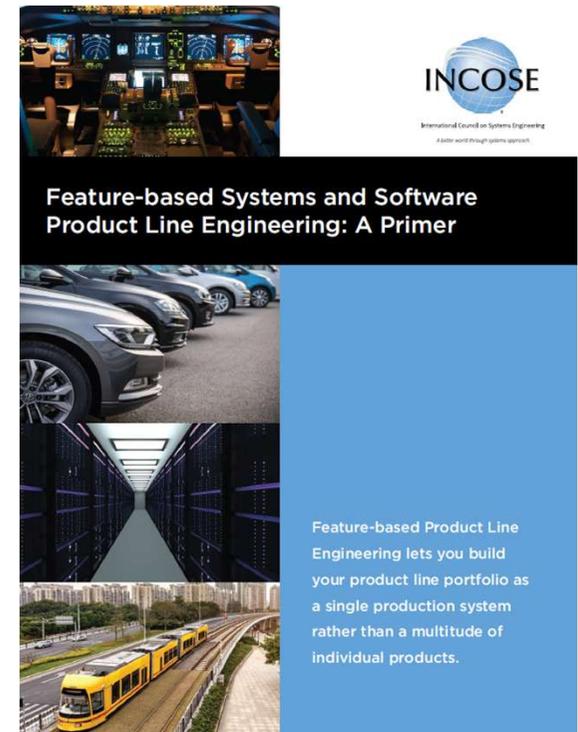
Sub-questions:

How can Standardization and **PLE (Product Line Engineering)** approach help?

What can be learned from **high-tech industries'** PLE approaches?

› PRODUCT LINE ENGINEERING (PLE)

- › PLE enables organizations to efficiently engineer a portfolio of similar systems by leveraging **commonalities** and managing **variability**.
- › Successfully adopted in aerospace, automotive, high-tech and defense,
 - › where systems are increasingly modular, configurable, and expected to evolve rapidly
- › Feature-based PLE treats the product line as a single production system rather than a collection of individual products



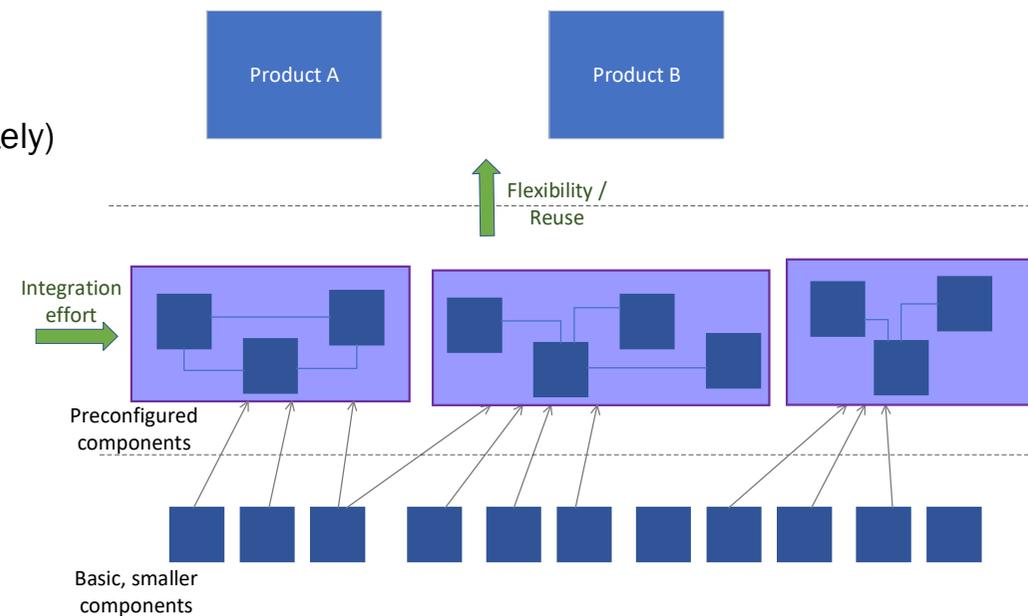
› **PRODUCT LINE ENGINEERING: AUTOMOTIVE**

THE USER (BUYER) CONFIGURES THEIR CAR

- › Selection
 - › Model
 - › Key standard features
 - › Optional packages and standalone options

› PLE: TECHNICAL ASPECT

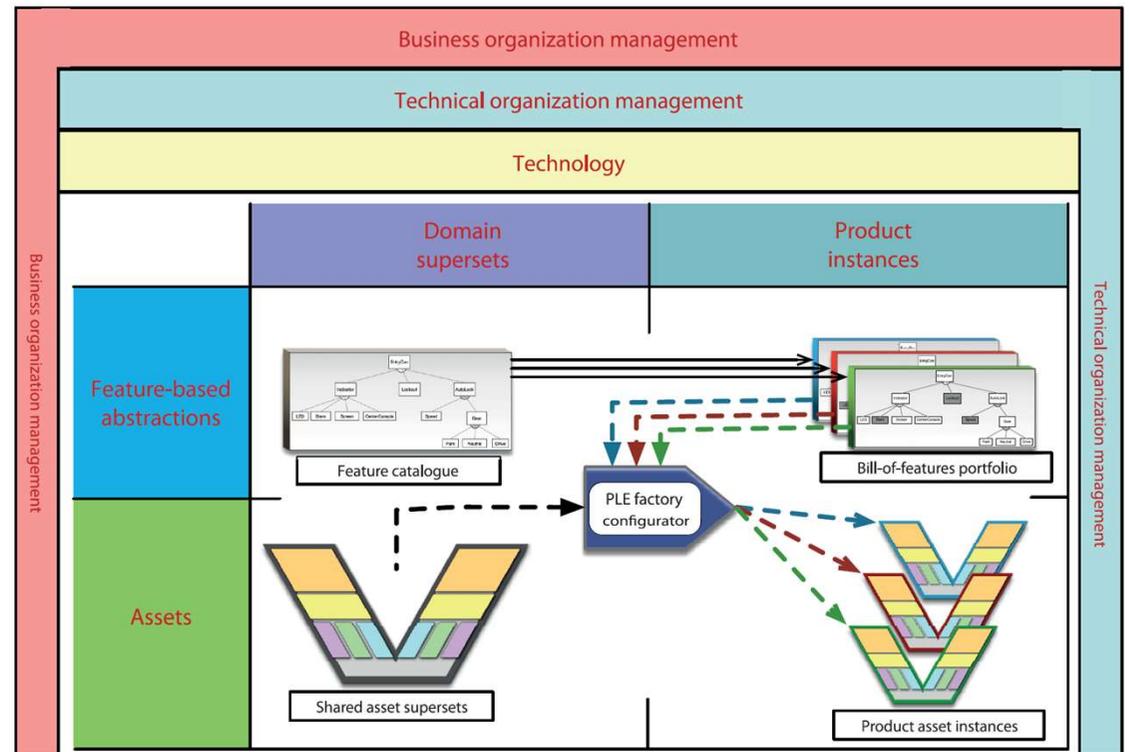
- › Finest component level driven by:
 - › Technical de-coupling (split different lifecycles pc vs mechanics)
 - › Functional de-coupling (do not combine different functions)
 - › Standardization
 - › Update/maintenance considerations (what to update separately)
- › Pre-integration (subsystem) level
 - › Reduce integration effort and risk for project teams
 - › Offer enough flexibility required for the market diversity



PRODUCT LINE ENGINEERING: AUTOMOTIVE

FEATURES, ASSETS, CONFIGURATOR

(ISO/IEC 26580:2021)



› MID-VOLTAGE STATION CONFIGURATION ALLIANDER

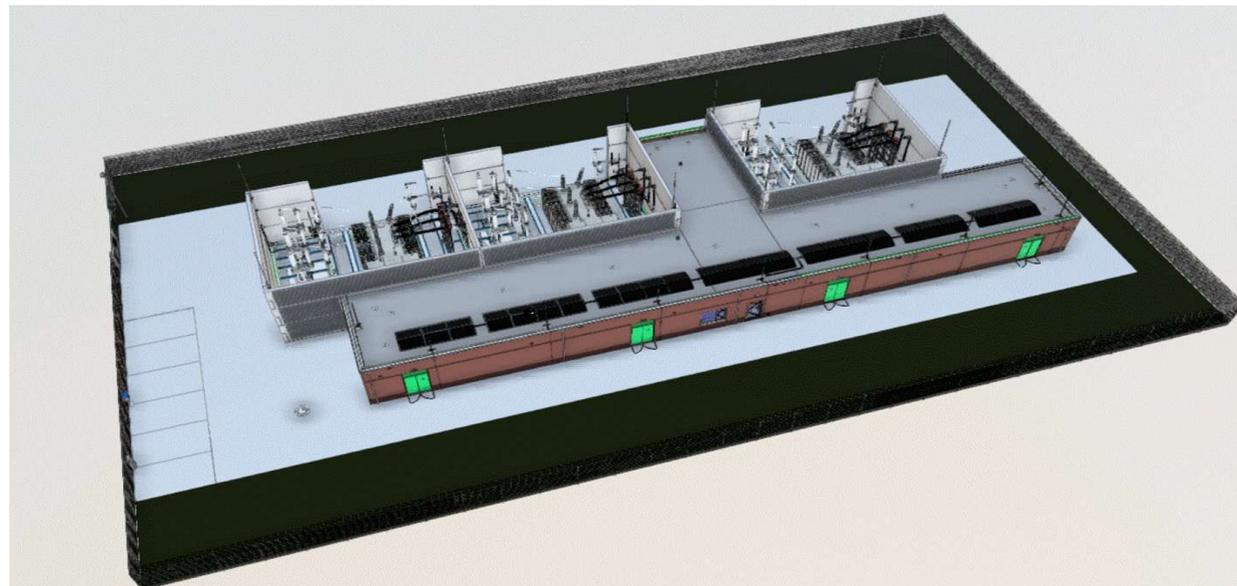
150/20KV CONVERSION, 160MVA: 3 TRAFOS AND 2X22 OUTGOING FIELDS

Station anatomy

- Primary installation:
 - *Electricity (conversion)*
 - *Transformer, switchgear, cables*
- Secondary installation
 - *Station control & automation*
- Tertiary installation
 - *Buildings and facilities*

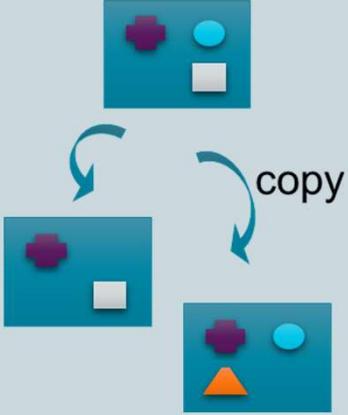
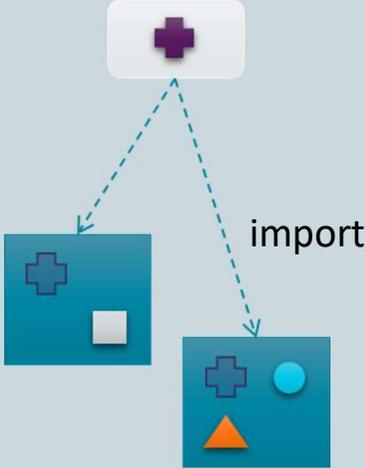
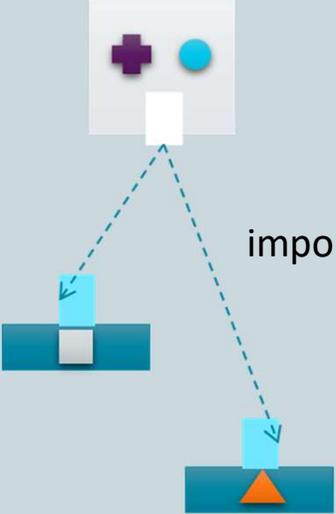
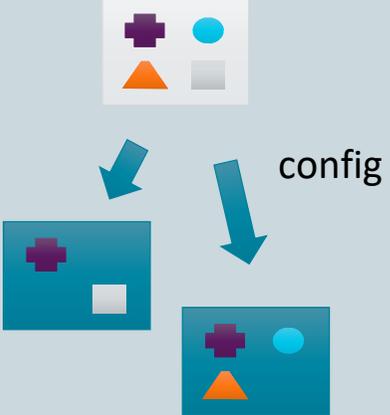


Adapted from [Alliander Modulair Bouwen](#)



PRODUCT LINE ENGINEERING FOR GRID OPERATORS

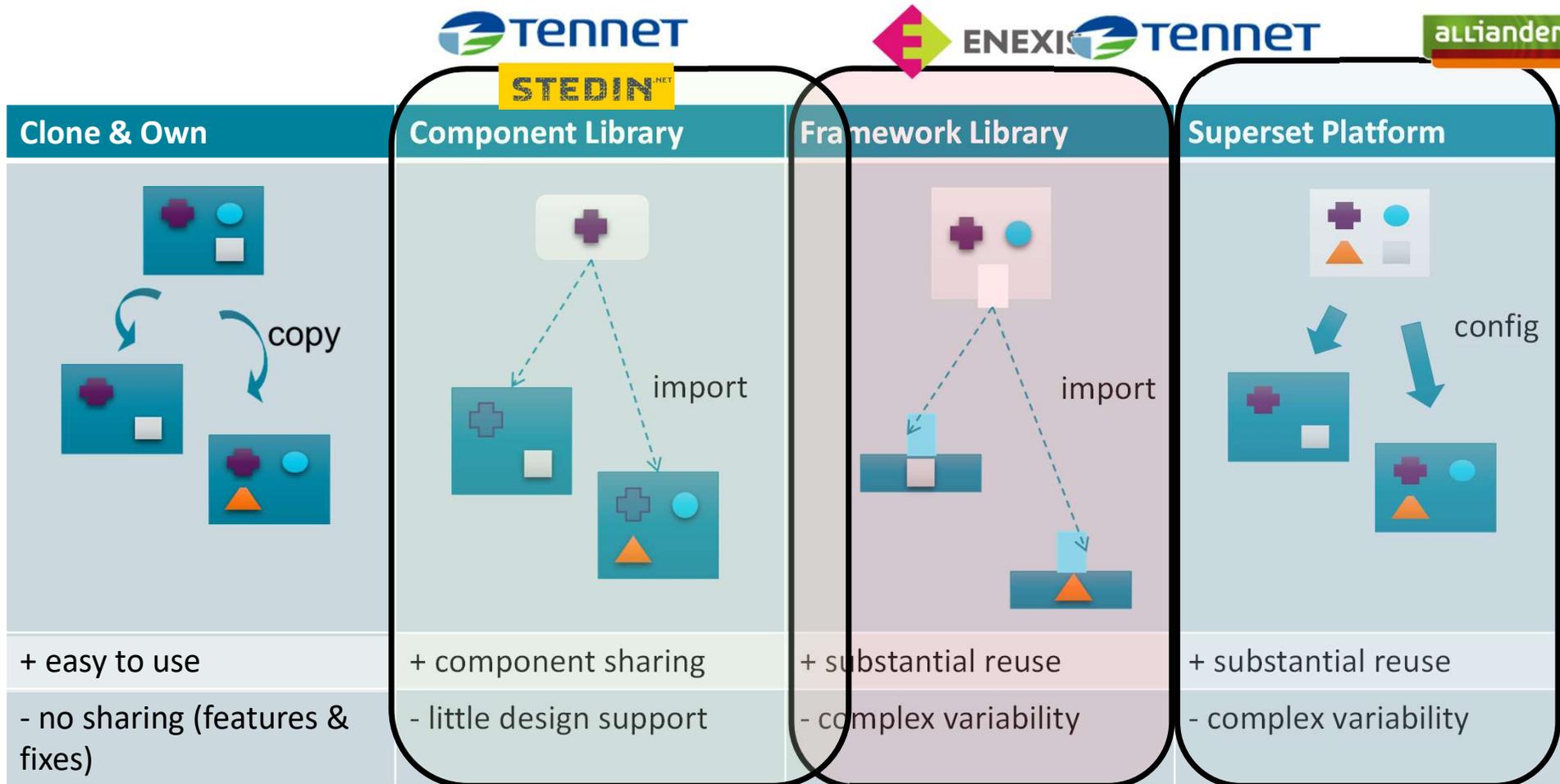
CONTEXT INFLUENCES CHOSEN APPROACH

Clone & Own	Component Library	Framework Library	Superset Platform
 <p>copy</p>	 <p>import</p>	 <p>import</p>	 <p>config</p>
+ easy to use	+ component sharing	+ substantial reuse	+ substantial reuse
- no sharing (features & fixes)	- little design support	- complex variability	- complex variability

From K. Czamecki U. Waterloo

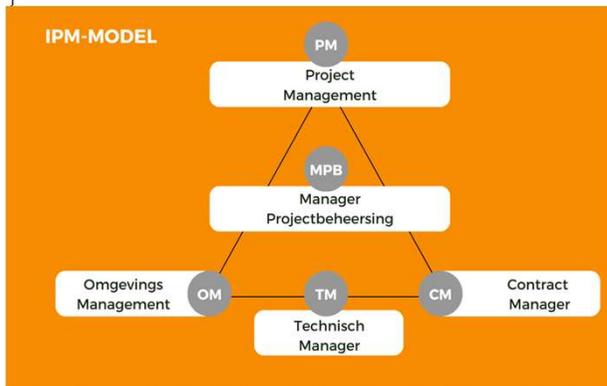
PRODUCT LINE ENGINEERING FOR GRID OPERATORS

CONTEXT INFLUENCES CHOSEN APPROACH



From K. Czamecki U. Waterloo

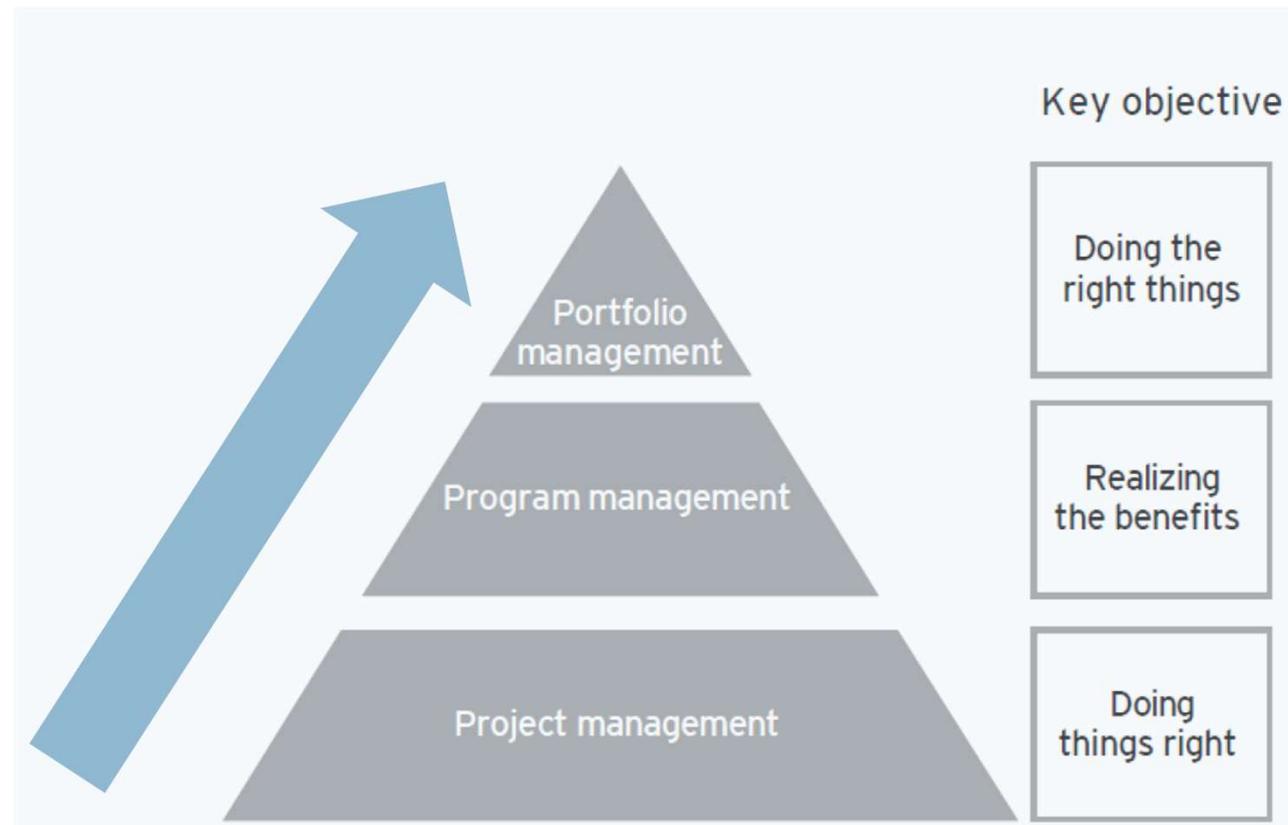
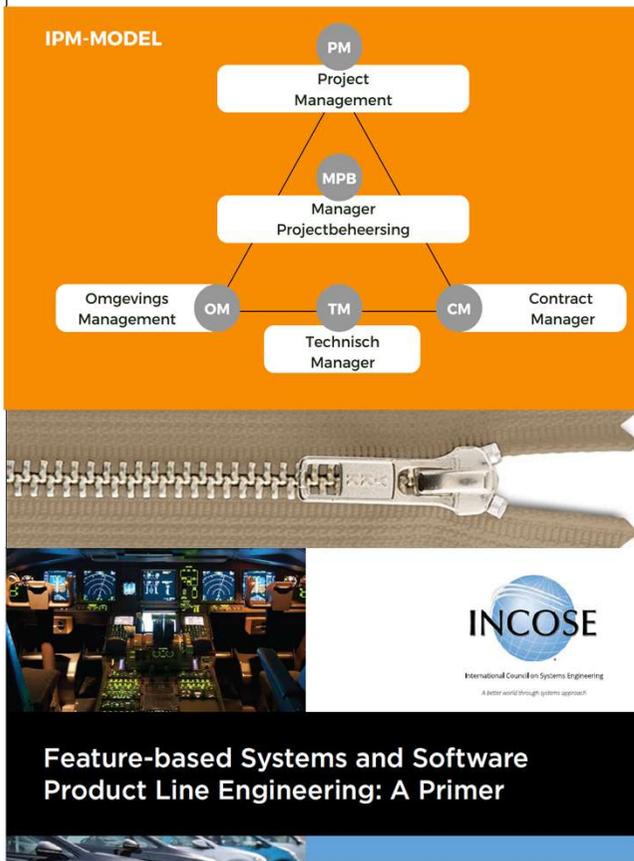
› FROM ONE STATION AND PROJECT / YEAR TO MULTIPLE ONES



- › Project management is complex
 - › Regulatory constraints, permits
 - › Multi-stakeholder landscape: municipalities, regulators, contractors, communities
- › PLE introduction requires strategic shift from Engineer-to-Order to Configure-to-Order
 - › Less flexibility, more discipline
 - › Emphasis on standardization and reuse (aligned with SE)
 - › Supports scaling and repeatability
 - › Needs to be balanced with site-specific requirements



.... AT PROGRAM AND PORTFOLIO LEVEL



BENEFITS OF MODULAR BUILDING ARE SIGNIFICANT

ENEXIS BENEFIT ESTIMATES: MORE THAN 4 TIMES FASTER. MORE THAN 10 TIMES THE VOLUME

Ontleed

Energiewesties in beeld

Sneller via standaardisatie

De energietransitie dwingt de netbeheerders om het tempo van netverzwaring flink op te voeren. Soms in die mate dat er met 'gewoon' harder werken niet tegenop valt te boksen. Zo moet het oplevertempo van nieuwe transport-verdeelstations bij Enexis maar liefst vertien- tot -twaalfvoudigen: van zo'n 10 per jaar naar 100 à 120 per jaar. Een nieuwe, modulaire werkwijze moet uitkomst bieden.

TEKST Marieke Enters INFOGRAPHIC Ymke Pas

Netsituatie

Transportverdelstations bevinden zich op middenspanningsniveau. Ze zorgen ervoor dat elektriciteit (zo KV, 10 KV) over lange afstanden wordt verdeeld - vergelijkbaar met een stoppenkast waar andere elektriciteitsstations op worden aangesloten. Sommige stations bevatten ook regeltransformatoren, omdat ze niet alleen elektriciteit verdelen: maar ook de spanning stabiel houden.

Oud versus nieuw

Oude werkwijze
Ontwerp op maat, tijdrovend

Elk transportverdeelstation werd individueel ontworpen en geïmplementeerd. Alleen al het security engineering (beveiliging e.d.) kostte zo'n 400 uur per station. Met de komende 8 jaar nog zo'n 800 stations te bouwen is dat tijdrovende maatwerk niet houdbaar.

Relatief veel werk 'in eigen huis' (= beperkte mogelijkheid om op te schalen).

Grondaankoop en vergunningaanvragen: steeds weer op basis van andere specificaties. Dat maakt het proces tijdrovender en foutgevoeliger.

Werkgebied

De komende 8 jaar moet Enexis in totaal 800 van dit soort nieuwe verdeelstations bouwen in z'n werkgebied.

- Elektriciteit
- Elektriciteit en gas

Primeur voor TVS in Roermond

In Roermond plaatste Enexis het allereerste modulairement gebouwd transportverdeelstation (TVS).

Nieuwe werkwijze
Standaardontwerp, opschaling mogelijk

Eén ontwerp, met standaard maatvoering en samengesteld uit dezelfde modulaire elementen, die zo veel mogelijk volgens dezelfde standaardprocedure in elkaar wordt gezet.

Het ontwerp is toegankelijk voor drie varianten:
- een stroomverdeelstation (TVS)
- een verdeelstation met twee regeltrafo's (TVS-zRT)
- een verdeelstation met drie regeltrafo's (TVS-3RT)

Enexis kan een groter deel van het werk uitbesteden. Er daarmee ontstaan meer mogelijkheden tot opschaling. Aannemers nemen Enexis werk uit handen en er kan makkelijker worden geschoven in de keten.

Grondaankoop en vergunningaanvragen: op basis van standaardspecificaties. Dat helpt de afdeling Ruimte & Recht van Enexis om de grondaankoop tijdig in gang te zetten.

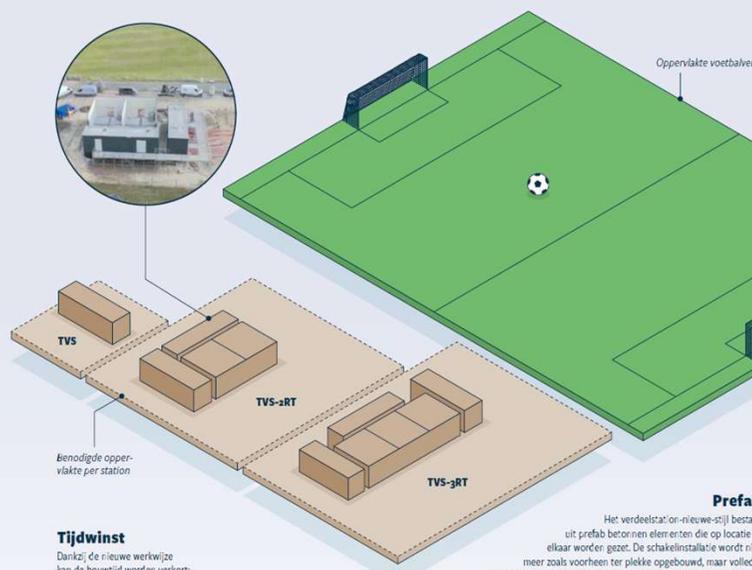
Vastomlijnd benodigd oppervlak voor de 3 varianten:
- TVS: 360 m²
- TVS-zRT: 1530 m²
- TVS-3RT: 1860 m²

De uitvoering en het uiterlijk van het gebouw staat grotendeels vast. Af fabriek zijn de schakelgebouwen grijs, soms kunnen ze later d'gewenst ruimtelijk worden ingepast. Maatwerk is alleen in zeer uitzonderlijke situaties mogelijk. Gemeenten die dat toch willen, moeten zich realiseren dat Enexis voorrang geeft aan stations die het snelst te bouwen zijn: de standaardstations.

Primeur voor TVX-zRT in Nieuwe Pekela

De eerste keer dat Enexis deze vernieuwende bouw aanpak toepast, is in Nieuwe Pekela. Daar komt een nieuw transportverdeelstation met twee regeltransformatoren (TVS-zRT), waarmee netcapaciteit beschikbaar komt om klanten aan te sluiten die nu op de wachtlijst staan. Daarnaast vergroot het nieuwe station de stabiliteit en toekansbestendigheid van het stroomnet in de regio.

NetNL nummer 45 | Netbeheer Nederland



Tijdwinst

Dankzij de nieuwe werkwijze kan de bouwijd worden verkort:
12-18 maanden → 4 maanden

Die tijdswinst stelt Enexis in staat het jaarlijkse oplevertempo te verhogen:

10 verdeelstations → 100-120 verdeelstations

Prefab

Het verdeelstation-nieuwe-stijl bestaat uit prefab beton elementen die op locatie in elkaar worden gezet. De schakelinstallatie wordt niet meer zoals voorheen ter plekke opgebouwd, maar volledig voorgeïntendeerd bij de leverancier. Ook de regeltrafo's worden elders al helemaal geassembleerd en voorbereid. Een kraan hijs de volledige schakelinstallatie het gebouw in. Daarna kan het dak op het gebouw geplaatst worden.



Ook modulaire bouw

Evereens in Groningen* werkt Enexis samen met Terneet sinds april 2024, ook via een nieuw, modulairement standaardconcept, aan de bouw van een nieuw hoog- en middenspanningsstation. Daarmee komt 360 MW extra capaciteit beschikbaar, met name bedoeld voor grote opwekkers in de regio, zoals zonneparken. Tot 2030 komen er nog vijf plekken in Noord-Nederland soortgelijke stations.
*Om precies te zijn op bedrijventerrein Zuid-Groningen bij Ter Apellanaal, in de gemeente Westervelde.



THANK YOU!