

Digital Twins & Immersive Technologies

Perspectief op nieuwe sleuteltechnologie

In opdracht van Topsector ICT

25-1-2024

Auteurs: Serina Contente, Tom Greenhead, Myrthe Maas
& Bas van der Starre



TOPSECTOR
ICT
dutch digital



Inhoud

- Inleiding [p 3](#)
- Afbakening [p 4](#)
- Stand van zaken [p 7](#)
 - Onderzoek [p 8](#)
 - Onderwijs [p 14](#)
 - Toepassing [p 15](#)
- Technologie in perspectief [p 22](#)
- Aanbevelingen [p 30](#)
- Bijlagen [p 32](#)

Inleiding

Verkenning digital twinning & immersive technologies als mogelijke nieuwe sleuteltechnologie

Topsector ICT heeft als missie het bedrijfsleven, overheid en kennisinstellingen te helpen innovaties in en met ICT te realiseren en daarmee de internationale positie van Nederland als land te verstevigen. Zij doen dat door een breed palet aan publieke en private partijen bijeen te brengen in innovatie-coalities met een focus op digitale sleuteltechnologieën. Als onderdeel van de nieuwe Nationale Technologie Strategie en het aankomende Kennis en Innovatie Convenant 2024-2027 zijn twee nieuwe digitale sleuteltechnologieën aan de vijf bestaande (Big Data, Blockchain, AI, Cybersecurity, Future Network Services) toegevoegd:

- **Digital twinning & immersive technologies**
- Neuromorphic technologies

Dit rapport dient als analyse van de stand van zaken van digital twinning & immersive technologies in Nederland om in kaart te brengen wat de Nederlandse positie is, wat de potentie is van deze technologie en wat de huidige uitdagingen zijn voor zowel ICT als andere topsectoren.

Dit rapport bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een **afbakening** van digital twins & immersive technologies voor deze verkenning.
- Een overzicht over wat de **stand van zaken** is in Nederland op het vakgebied digital twinning en immersive technologies aan onderzoek, onderwijs en toepassing
- Gebaseerd op die stand van zaken een **perspectief op de technologie** vanuit zes invalshoeken van het afwegingskader voor sleuteltechnologieën van het missiegedreven innovatiebeleid, te weten:
 1. De kans op maatschappelijke impact
 2. De kans op economische impact
 3. De relatieve positie van Nederland in EU-12 en in de wereld
 4. De krachtenbundeling met andere initiatieven
 5. De potentie voor meerjarige samenwerking over de gehele keten
 6. Het doorsnijndend karakter
- **Aanbevelingen** over mogelijke acties van Topsector ICT.

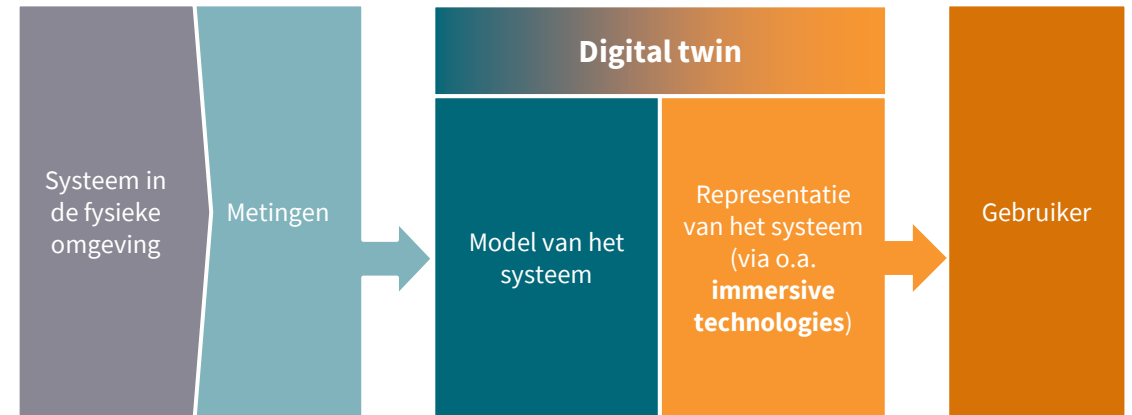
Afbakening







Afbakening

Digital twins en immersive technologies bieden interactieve representatie van de fysieke omgeving

- Een **digital twin is een virtuele replica van een fysiek object**. Dat kan een product zijn, of een persoon, of een heel systeem zoals een elektriciteitsnetwerk of een productielijn. Het virtuele model is gekoppeld aan sensoren en andere meetinstrumenten, die data (vaak in real-time) ophalen uit de fysieke omgeving, maar kan ook gekoppeld worden aan andere modellen om effecten op of veranderingen van het object te simuleren zonder dat een fysiek experiment nodig is. De digital twin omvat een (software)laag die de data uit dit model representeert en inzichtelijk maakt via allerlei interfaces.
- **Immersive technologies** is een verzamelnaam voor nieuwe methoden om met een combinatie van beeld, geluid en soms zelfs aanraking gebruikers een nieuwe vorm van ervaring te geven. Daarbinnen zijn de twee belangrijkste technologie-stromingen **Augmented Reality** en **Virtual Reality**.
 - **AR** presenteert digitale informatie alsof ze in de fysieke omgeving worden geplaatst, via een mobiel apparaat of een headset. Deze informatie kan als platte 'laag' gepresenteerd worden of als 3D object.
 - **VR** brengt de gebruiker in een volledig virtuele omgeving via een headset of scherm, waarbij de omgeving wordt gegenereerd door de computer of op basis van 360-graden videobeelden.
- Deze twee technologieën worden aan elkaar gekoppeld omdat immersive technologie een **mogelijke interface** is voor een digital twin en zo een verbreding biedt van de use cases van een digital twin.



Criteria voor een Digital Twin

-  Virtueel opgeslagen representatie van een fysiek object
-  Computationale representatie gekoppeld aan simulaties en voorspellingen
-  (Deels) gebouwd op daadwerkelijke data van een (toekomstig) fysiek object
-  Gesynchroniseerde data-uitwisseling is mogelijk met omgeving voor aansturing

Mogelijk geïntegreerd of verbonden met andere digital twins

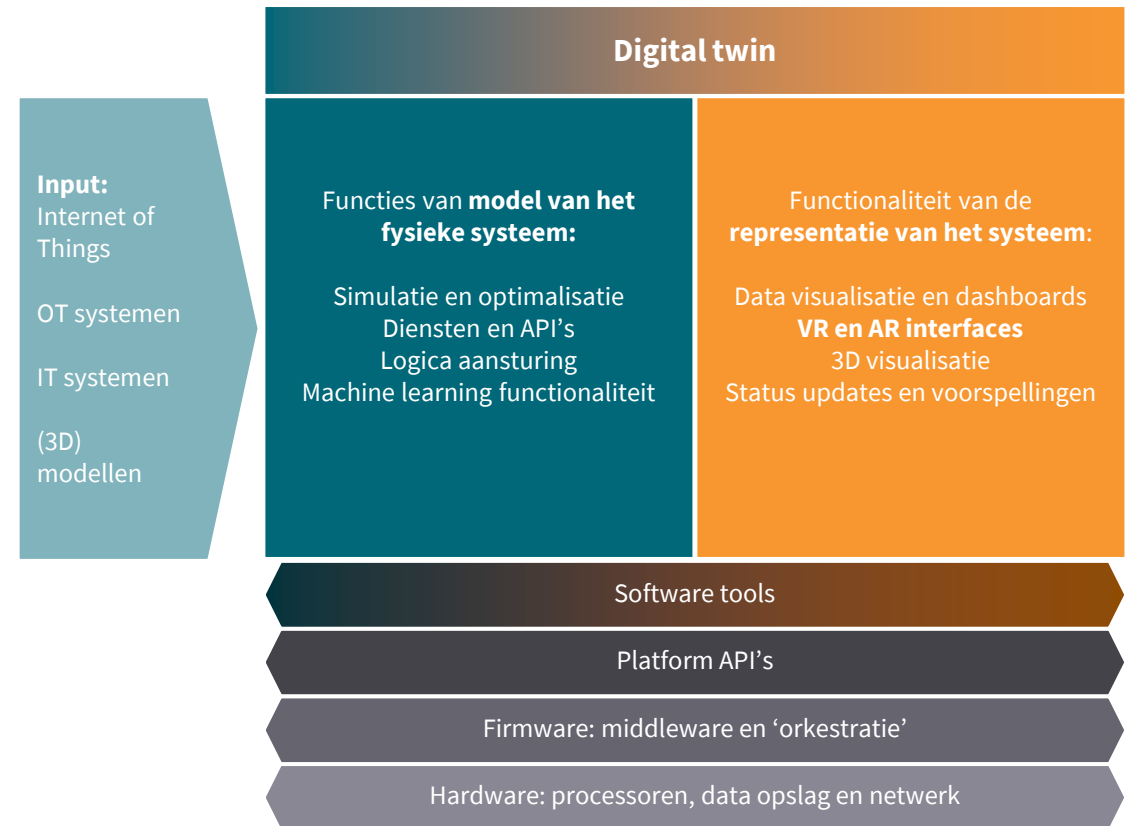
Afbakening

Digital twins als concept representeert een integratie van meerdere sleuteltechnologieën

Digital twins bouwen voort op **meerdere digitale sleuteltechnologieën**:

- Voor de input combineren digital twins gegevens uit allerlei bronnen, wat door de snelle ontwikkelingen in Internet of Things en digitale communicatie van de afgelopen jaren eenvoudiger is geworden.
- In het maken en simuleren van het model van de omgeving worden technieken uit data processing, data science en AI gecombineerd. Hiermee wordt het mogelijk data van het fysieke object te koppelen aan modellen om o.a. simulaties uit te voeren.
- De representatie wordt vervolgens mogelijk gemaakt via data visualisatie, 3D rendering en kan via immersive technology als AR of VR bij een gebruiker gebracht worden.

Voor dit onderzoek zijn deze bovenstaande technologieën in scope als ze gebruikt worden voor de applicatie van een digital twin of een interface met een digital twin via immersive technology. **Digital twins zijn het uitgangspunt van dit onderzoek**, op een aantal vlakken verbreden we de analyse naar immersive technology waar dit relevant is voor de ontwikkeling van digital twins. Per analyse en conclusie expliciteren we of het gaat om digital twins, immersive technologies of beide technologieën.



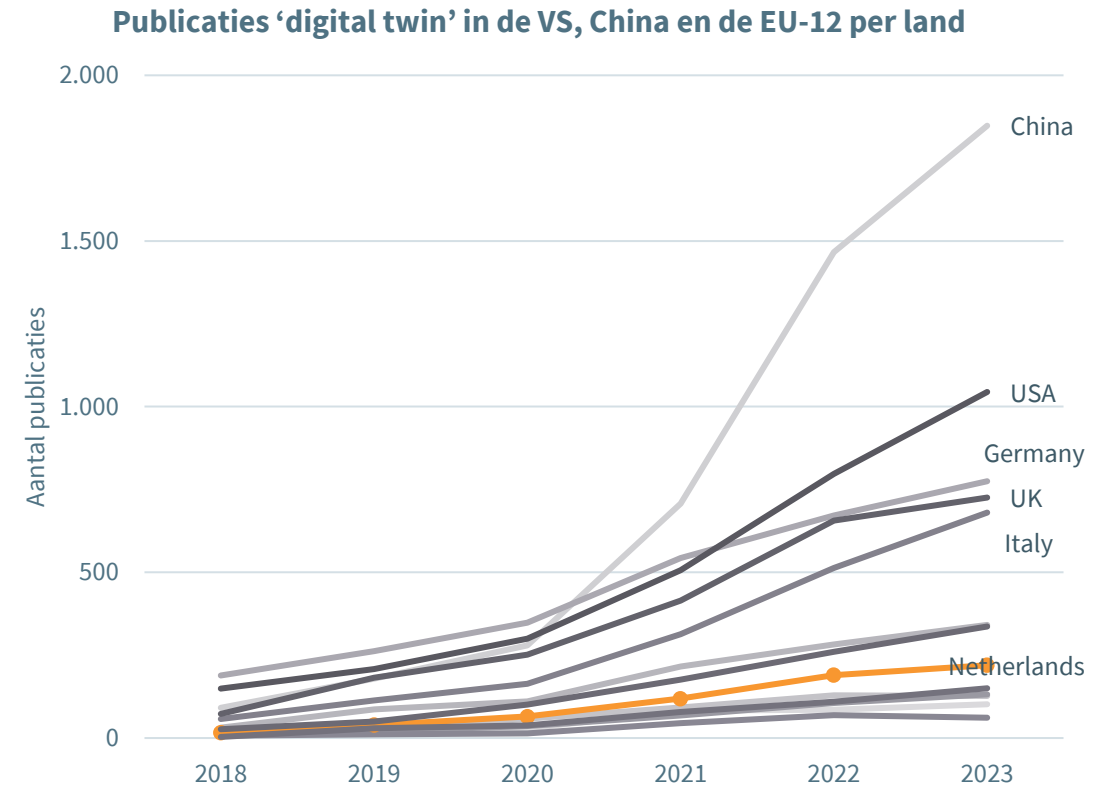
Stand van zaken ontwikkeling



1. Onderzoek

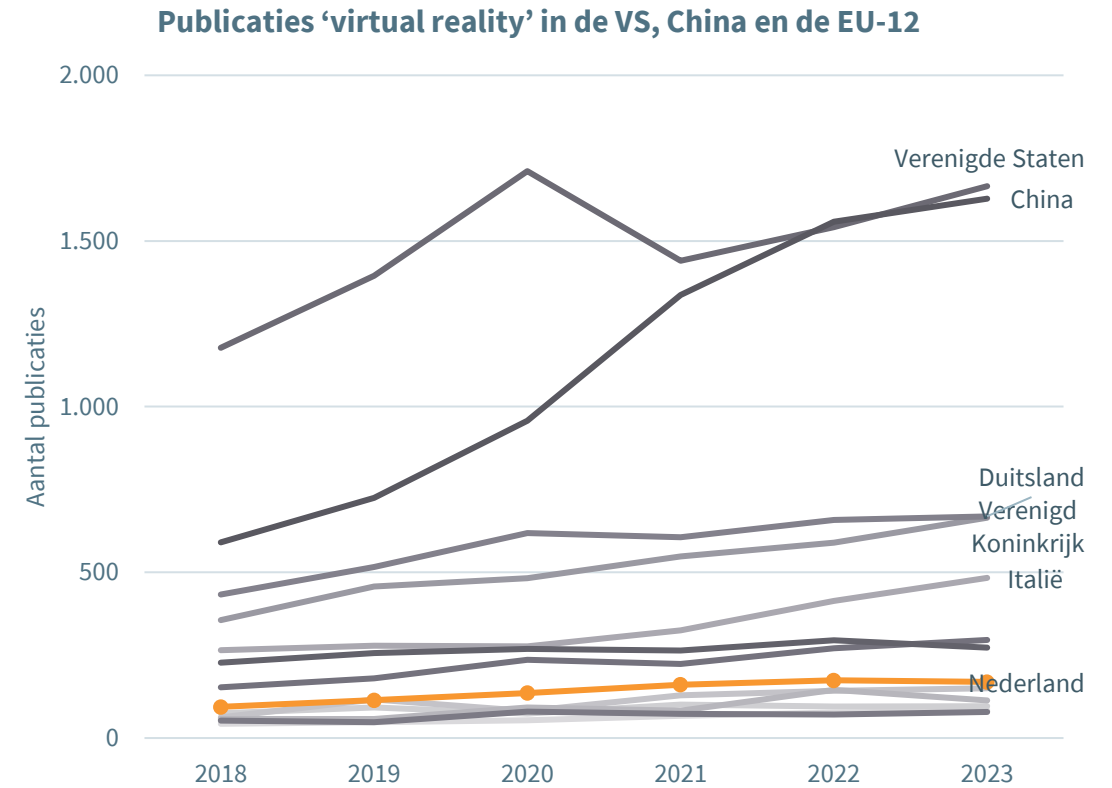
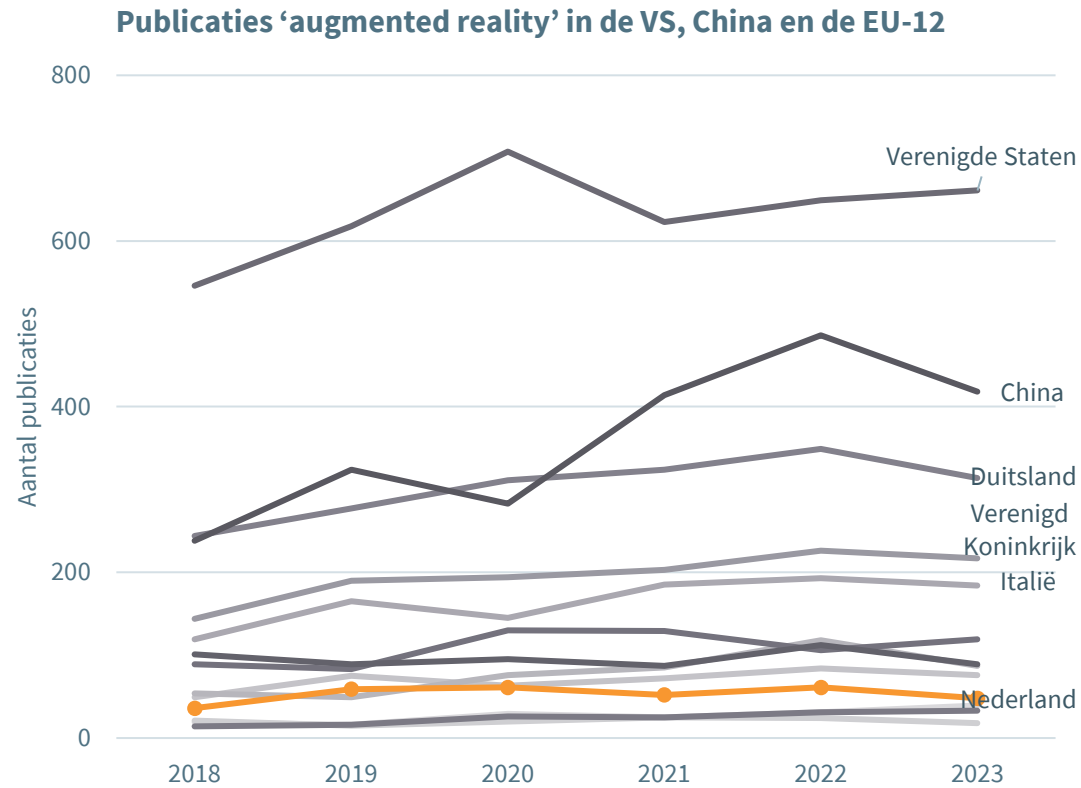
Nederland heeft een sterke en groeiende onderzoekspositie in digital twin, zowel absoluut als relatief

- Het concept ‘digital twin’ staat aan de basis van een snel groeiend kennisveld, dat **in publicatie output meer dan 8x** is gegroeid van 2018 tot 2023. Het laat zien dat de term in die periode is gepopulariseerd in de wetenschappelijke literatuur. Belangrijkste publicerende landen zijn China, de Verenigde Staten en op afstand, Duitsland.
- Nederland produceert in de periode 2018-2023 649 publicaties in digital twin gerelateerd onderzoek. NL is in die periode verantwoordelijk voor 2,1% van het wereldwijde onderzoek. Dat is, vergeleken met andere disciplines, meer dan 2x de verwachte wetenschappelijke output. Daarmee staat NL op de **achtste plaats** van de geselecteerde landen qua output in **digital twin** onderzoek en deze output **groeit met 55% per jaar**.
- Nederland staat ook **in de top 10 van de selectie** landen als het gaat om publicaties in **immersive technologies** (zie volgende bladzijde), maar dit veld groeit langzamer dan dat van digital twins, mogelijk doordat deze concepten al langer bestaan. De Nederlandse onderzoeksoutput in immersive technologies groeit slechts 1,0-1,3% per jaar, terwijl landen als de VS en China een groei van 5-15% per jaar laten zien.
- De onderzoeksvelden rond **digital twins en immersive technologies overlappen maar beperkt**. Ongeveer 10% van de publicaties over digital twins neemt ook AR of VR in haar scope mee.



1. Onderzoek

In publicatie output rond immersive technologies staat Nederland hoog maar is de groei laag

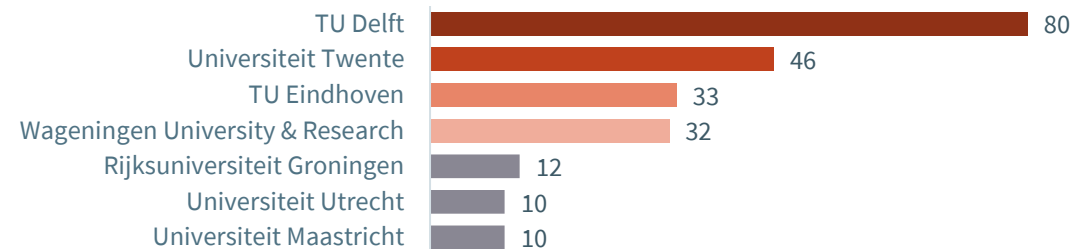


1. Onderzoek

Onderzoek rond digital twins en immersive technologies voornamelijk gedreven door 4TU

- Op instellingsniveau is de **TU Delft een belangrijke motor** achter de publicatiepositie van Nederland voor digital twins, in de periode 2018-2023 staat de TU Delft op **de 8^e plek wereldwijd** in de top 10 van instellingen met de meeste output.
- Maar de **kennis is breder verspreid** over de verschillende (4TU) universiteiten, waarbij elk van de instellingen een eigen focusgebied heeft, vaak in te delen aan de hand van de beoogde toepassing van digital twins. *Het overzicht hiernaast geeft een beeld voor digital twins maar is niet uitputtend.*
- We identificeren in Nederland voor **immersive technologies**, specifiek virtual reality en augmented reality, tenminste **204 academische experts** (onderzoekers met meer dan 10 publicaties op het onderwerp). Hierin zien we de grootste concentratie onderzoekers bij de Universiteit Twente, maar in dit veld zijn ook de brede universiteiten zoals Utrecht, Amsterdam en Radboud actief. Deze onderzoekers werken niet alleen aan (software) ontwikkeling, maar ook aan toepassing in disciplines als geneeskunde, media, psychologie, geografie en bespiegeling in disciplines als filosofie en politieke wetenschappen.

Aantal publicaties 2018-2023 digital twins
(Nederlandse instellingen met 10 of meer publicaties)



TU Delft:

gericht op de integratie van digitale tweelingen in de *gezondheidszorg* met aandacht voor *ethische* overwegingen en het verkennen van toepassingen van digital twins in *stadslogistiek*.

TU Eindhoven:

gericht op theoretische en praktische aspecten van digital twins in o.a. de context van de *gezondheidszorg*, met nadruk op de *materialisatie* en *implementatie* van digital twins.

Universiteit Twente:

gericht op de ontwikkeling en toepassing van digital twins in verschillende contexten, met een bijzondere nadruk op *productie*, *stelselontwerp*, *energieovergang* en *gegevensintensief onderzoek*.

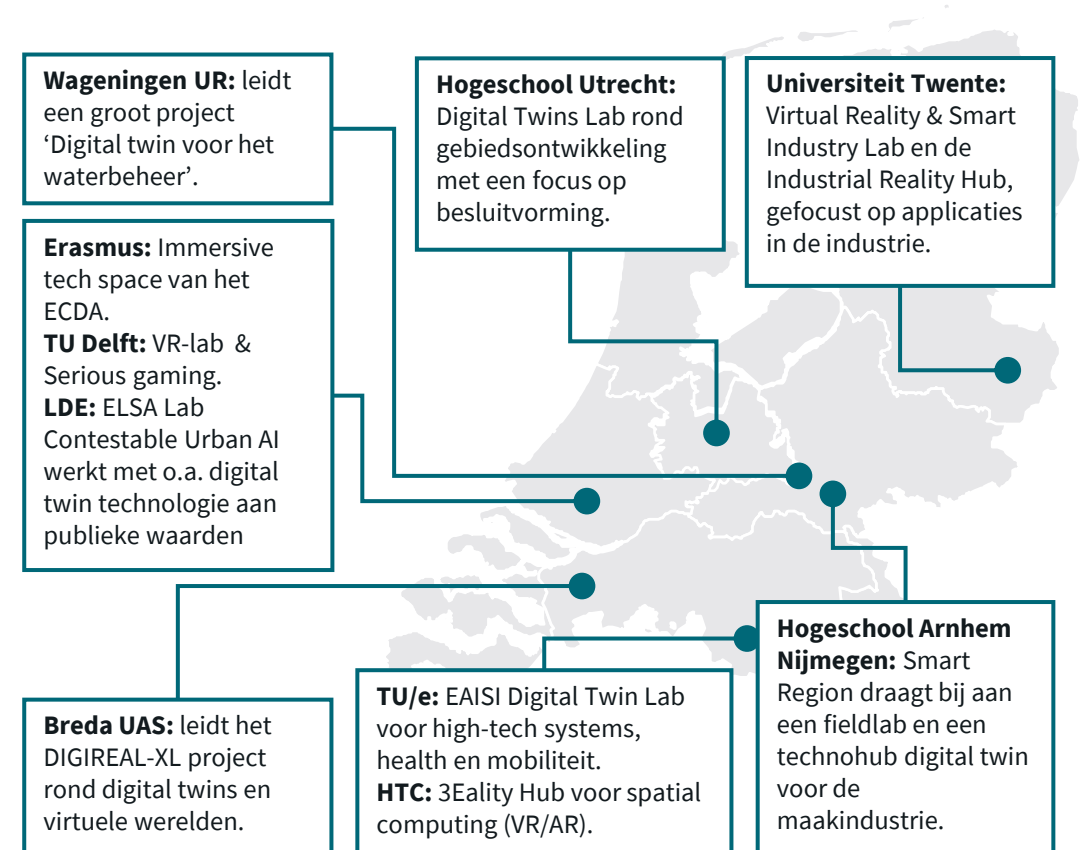
Wageningen UR:

gericht op maatschappelijke en ethische aspecten van digital twins, met aandacht voor toepassing in verschillende gebieden waaronder *landbouw*, *gezondheidszorg*, en *duurzame energie*.

1. Onderzoek

Nederlands onderzoek richt zich al sterk op verschillende toepassingen maar is nog gefragmenteerd

- Respondenten hebben een positief beeld van de Nederlandse kennispositie. Men ziet dat er **veel universiteiten en hogescholen actief** zijn met digital twins en immersive technologies en dat dit gepaard gaat met steeds meer investeringen in faciliteiten en labs.
- Rond **immersive technologies** zien we bijvoorbeeld sterke concentraties in Eindhoven, Rotterdam, Twente en Delft, die gericht zijn op het toepassen van de technologie. *Voorbeelden van labs, faciliteiten en projecten staan in de figuur rechts, dit is niet uitputtend.*
- Er zijn nog **weinig grote verbindende nationale samenwerkingen** rond digital twins. Er is het TTW perspectief programma Digital Twin waarin 6 consortia met kennisinstellingen en bedrijven werken aan onderwerpen van vermindering van complexiteit tot demonstrators voor sectorspecifieke use cases.
- Respondenten merken op dat de Nederlandse kennis nog “*nog beperkt samenkomt*”. Er is volgens respondenten een kans om de activiteiten met elkaar te verbinden. Veelgehoorde opmerking daarbij is dat vraag en aanbod van kennis elkaar nog niet weten te vinden: bedrijven worden nog onvoldoende blootgesteld aan de mogelijkheden van de technologie.



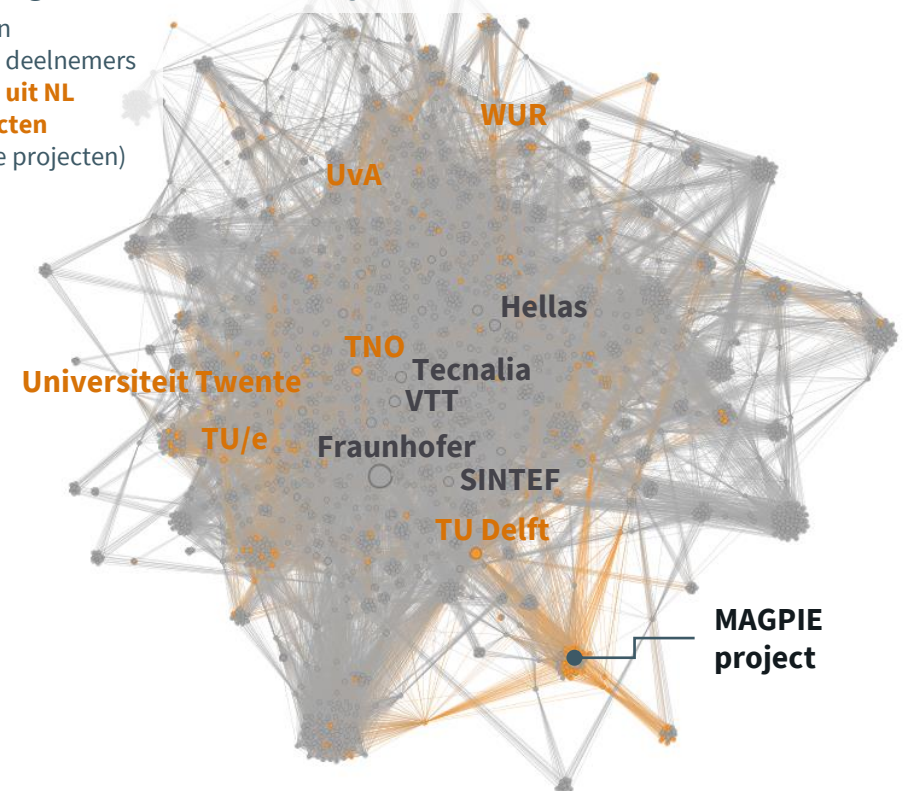
1. Onderzoek

Nederland doet mee in ongeveer 1/3 van de Europese samenwerkingsprojecten over digital twins

- Nederland is met relatief weinig partijen **betrokken in een groot aandeel (35%)** van de Europese onderzoeksprojecten naar digital twin. De meest centrale deelnemers in Nederland zijn TU Delft, TNO, WUR, Universiteit Twente en TU/e.
- Zowel in Nederland als Europa zijn **bedrijven de grootste groep** deelnemers aan projecten, met een aandeel in NL van 65%. Dit aandeel bedrijfsdeelnames geeft aan dat de technologie relatief volwassen is.
- Er zijn twee Nederlandse partijen die **meerdere projecten coördineren**: TU Delft (met 3 projecten), en de Universiteit van Amsterdam (met 2 projecten). De TU richt zich in deze projecten voornamelijk op digitale gebouwen, steden en regio's, terwijl de UvA gericht is op digitale twins en platformtechnologie.
- Project met hoogste Nederlandse deelname is het **MAGPIE project** (sMArt Green Ports as Integrated Efficient multimodal hubs), met als thema digital twins voor voedsellogistiek. Hierin clusteren 19 van de 154 Nederlandse partijen samen.

Netwerk van deelnemers in Horizon2020 en Horizon Europe in digital twin innovatieprojecten (2014-2023)

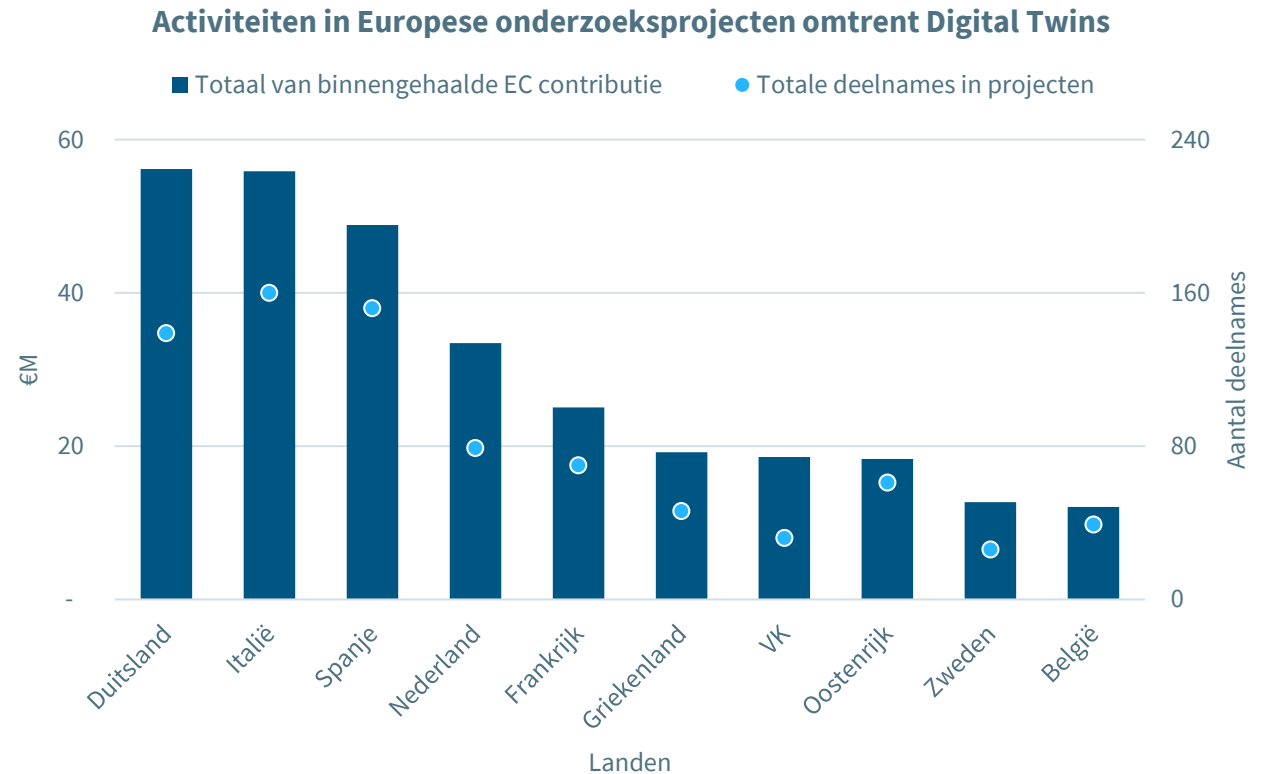
288 projecten
3.075 unieke deelnemers
**154 partijen uit NL
in 102 projecten**
(35% van alle projecten)



1. Onderzoek

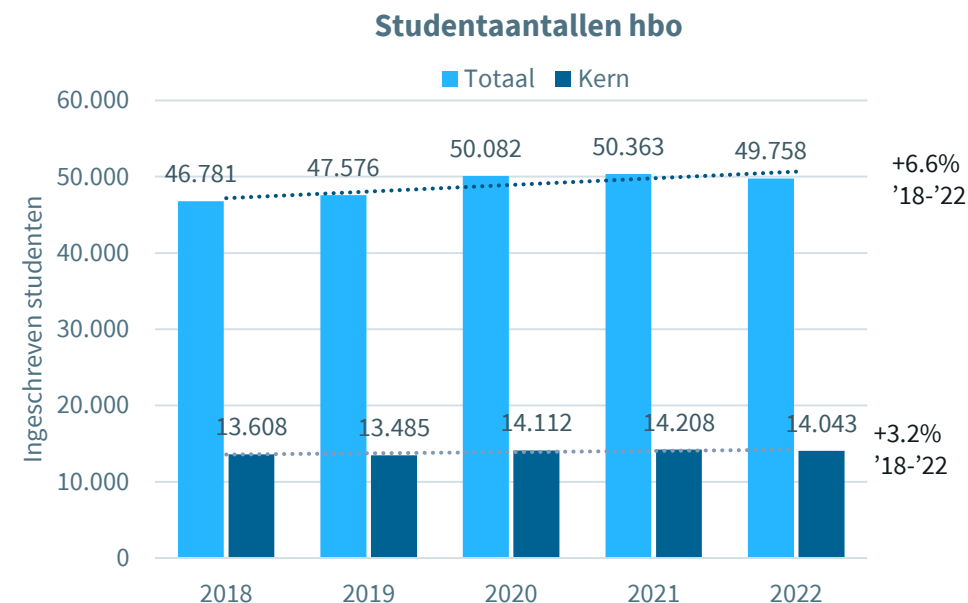
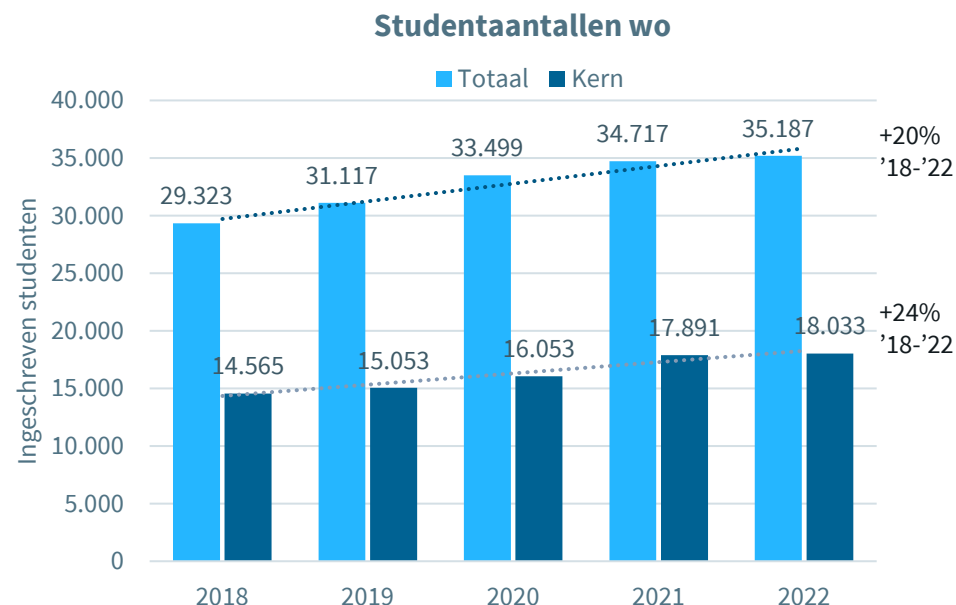
Ondanks groot verschil met koplopers, zit Nederland in top 4 actieve landen op digital twin R&D

- Nederland is na Duitsland, Italië en Spanje het actiefste land op het gebied van digital twin R&D projecten, zowel **qua binnengehaalde contributie** van de Europese Commissie, als **het aantal deelnames in projecten**.
- Tussen de drie koplopers en Nederland zit een relatief groot verschil**, aangezien ze alle drie ruim 20 miljoen meer aan EC contributie hebben binnengehaald en vaker in projecten deelnemen dan Nederland. Frankrijk, Griekenland, het Verenigd Koninkrijk en Oostenrijk volgen Nederland op het gebied van actiefste landen.
- Nederland is **middels verschillende projecten goed verbonden met koploperlanden in Europa** en heeft afgelopen jaren 13 projecten gecoördineerd met publieke en private partijen uit binnen- en buitenland. Respondenten merken een **sterke samenwerking** op met Duitsland (rond industrie), Frankrijk (rond o.a. visualisatie) en Engeland (o.a. digital twins en organisatorische aspecten).



2. Onderwijs

Stabiele en stevige groei in aantal wo-studenten, groei aantal hbo-studenten groeit minder snel



Aantal wo-studenten met digital twin kennis groeit gestaag. Doordat de technologie meerdere sleuteltechnologieën beslaat zijn er meerdere routes om kennis over het concept op te doen. Kernopleidingen zijn geselecteerd vanuit scriptiebanken, desk research en interviews (o.a. Mechanical Engineering, Electrical Engineering en Computer Science). Totaal opleidingen zijn relevante opleidingen waarin de technologie een component is of terugkomt in scripties.

In het hbo groeit de populatie studenten met relevante kennis minder snel en is er een kleinere populatie met direct relevante kernopleidingen. Vanuit de WO-selectie is een doorvertaling gemaakt naar soortgelijke hbo-opleidingen. Daarnaast is ook hier uit desk research en interviews informatie gehaald. Dit geeft o.a. Engineering en Civiele Techniek als kernopleidingen.

3. Toepassing

Digital twin toepassingen zichtbaar relevant voor alle topsectoren en op alle vlakken is activiteit te zien

- De huidige markt voor digital twins wordt geschat op 11 miljard USD wereldwijd en **groeit** volgens analisten tot 2030 **met gemiddeld 37%** per jaar tot 138-154 miljard USD. Deze verwachting is gestoeld op aan aannames over de implementatie van meer cloud computing, AI, IoT en de veronderstelling dat bedrijven die een digital twin gaan gebruiken significant kunnen besparen op kosten.
- Door digitale replica's te creëren van fysieke systemen, zoals productielijnen, supply chains, en infrastructuren, kunnen bedrijven **real-time inzicht** krijgen in prestaties en processen. Dit stelt hen in staat om proactief problemen te identificeren en optimalisatiemogelijkheden te verkennen.
- In **alle topsectoren kunnen digital twins worden toegepast** rond efficiëntie van productieprocessen, monitoring en bijsturing. Het zijn vooral grote, internationale, bedrijven die digital twins hebben van hun producten en/of processen.
- Op de volgende bladzijde geven we een overzicht van voorbeelden van immersive technologies toepassingen, met een bredere afbakening dan alleen de topsectoren.

Topsector (excl. ICT)	Toepassingen digital twins en immersive tech	Toepassende bedrijven
Agri & Food	<ul style="list-style-type: none"> Smart farming en precision agriculture 	<ul style="list-style-type: none"> Unilever Mars
Chemie	<ul style="list-style-type: none"> Monitoren en onderhouden van productieproces Kwaliteit en veiligheid: controles en training 	<ul style="list-style-type: none"> Tata Chemicals
Creatieve Industrie	<ul style="list-style-type: none"> Productdesign met VR en digital twins 	<ul style="list-style-type: none"> Nike
Energie	<ul style="list-style-type: none"> Digital twin een gaswinningslocatie Digital twin van elektriciteitsnet 	<ul style="list-style-type: none"> Shell
Life Sciences & Health	<ul style="list-style-type: none"> Productontwikkeling en -verbetering Digital twin van het menselijk lichaam 	<ul style="list-style-type: none"> Philips
High Tech Systemen & Materialen	<ul style="list-style-type: none"> Monitoren en onderhouden productieproces Testen van materialen in digital twin-omgeving 	<ul style="list-style-type: none"> NXP
Logistiek	<ul style="list-style-type: none"> Modelleren, optimaliseren en monitoren Orderpicking met augmented reality 	<ul style="list-style-type: none"> DHL
Tuinbouw & Uitgangsmaterialen	<ul style="list-style-type: none"> Monitoren en sturen van teelt met real-time data 	<ul style="list-style-type: none"> Growers United Agrocare Growers
Water & Maritiem	<ul style="list-style-type: none"> Digital twin van waterdistributienetwerk of in scheepsbouw 	<ul style="list-style-type: none"> Vitens Port of Rotterdam

Voorbeelden van toepassingen en bedrijven niet uitputtend

3. Toepassing

Immersive technologies op allerlei domeinen ingezet voor procesoptimalisatie, educatie en interactie

Toepassing en domein	Veiligheid	Overheid	Gebouwde omgeving	Mobiliteit	Onderhoud	Creatieve industrie	Life Science & Health
Procesoptimalisatie (van fysiek naar digitaal)	Defensie simuleert productieproces van schotels om verbeteringen door te voeren.			Fiat Chrysler gebruikt VR in het designproces van auto's.			Erasmus MC doet onderzoek naar interactieve diagnostiek in VR.
Educatie (levensechte training)	Politie Nederland zet VR in voor o.a. reanimatie en onderzoeks-trainingen	Ministerie van Financiën biedt naast reguliere ook trainingen in VR aan aan personeel	Rijkswaterstaat wil Digital Twin inzetten voor training personeel	KLM biedt XR-trainingen aan in haar XR Lab	TU Delft zet immersive tech in voor ICT opleidingen, inclusief maintenance	VR in verzetsmuseum Zuid-Holland	Erasmus MC onderzoekt VR voor simulatietraining in de zorg.
Interactie (nieuwe vormen van contact tussen mensen en organisaties)	Politie onderhoudt contact met jongeren in 'game-omgeving'	De Justitiële ICT Organisatie ontwikkelde een serious game die jongeren helpt terug te keren in de maatschappij	Programma Digitale Stad Rotterdam zet in op participatie deelnemers rondom gebieds-ontwikkeling		TNO is bezig met het mogelijk maken van interactief onderhoud, voor lucht- en voertuigen.	Zero Latency Rotterdam biedt VR-gaming en avonturen voor teams	Erasmus MC doet onderzoek naar VR-gebruik om kinderen minder angst te laten ervaren

Voorbeelden van toepassingen en bedrijven niet uitputtend

3. Toepassing

Digital Twins zijn vooralsnog primair een aangelegenheid van grote multinationals

- Veel multinationals zien een **waarde in Digital Twins** en investeren in oplossingen om onder andere producten te ontwikkelen en (productie)processen te optimaliseren. Voorbeelden hiervan zijn Airbus, Shell, Honeywell en GSK. Port of Rotterdam bouwt bijvoorbeeld een digital twin van de haven om wachttijden te verminderen en aanleg-, laad- en vertrektijden te optimaliseren. Shell gebruikt een digital twin een gaswinningslocatie ter besluitvorming rondom exploitatie.
- Daarnaast bieden grote technologiebedrijven, naast hun eigen interne toepassing van de technologie, **Digital Twin oplossingen** voor haar klanten. Voorbeelden hiervan zijn General Electric, Siemens en Dassault Systems, maar ook Royal Haskoning vermarkt bijvoorbeeld Digital Twin-oplossingen.
- Alle schattingen over de verdeling van de markt geven aan dat in Europa **Duitsland de grootste Digital Twin-markt** heeft, met naar schatting >30% van de toepassingen. Naast dat verschillende in Duitsland gevestigde grote multinationals Digital Twin-oplossingen vermarkten (o.a. Siemens en Bosch), is het gebruik onder het Duitse bedrijfsleven en bij overheidsinstanties ook substantieel.



General Electric

Internationaal technologieconcern GE creëert Digital Twins van haar eigen bedrijven en productielijnen, maar biedt ook de **mogelijkheid Digital Twins te bouwen voor haar klanten**. Relevante sectoren hierbij zijn Luchtvaart, (Duurzame) Energie en Transport. De Twins kunnen worden 'gerund' op verschillende Cloud platforms, zoals AWS en Azure.

Volgens GE zullen Digital Twins **onmisbaar worden in de operatie** van haar klanten.



Siemens

Technologie- en elektrotechniekbedrijf Siemens ondersteunt haar klanten in het worden van een **'Digital Enterprise'**. Hierin speelt Digital Twin-technologie een sleutelrol. Hierin leggen ze focus op:

1. Product – efficiënt design
2. Production – manufacturing & production planning
3. Performance – capturing, analyzing and acting upon operational data

Volgens Siemens zijn 'Digital Enterprises' koplopers dankzij het **combineren van reële en digitale werelden**.



Dassault Systems

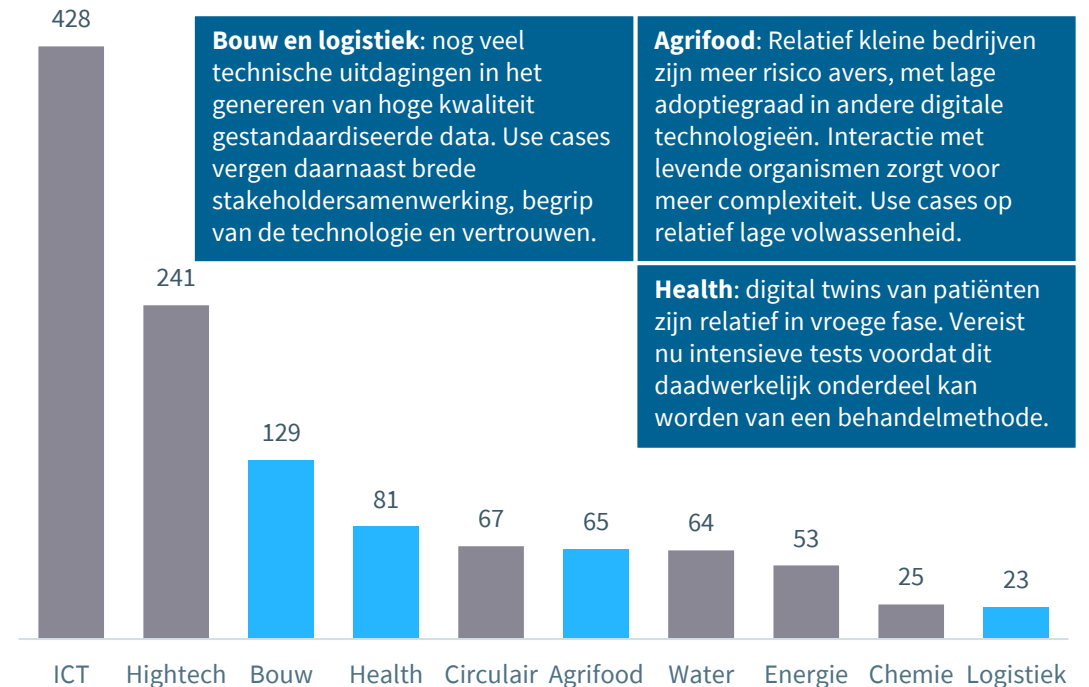
Frans softwarebedrijf Dassault Systems biedt Digital Twin-oplossingen voor industrie, life sciences, zorg en infrastructuur. Echter, Dassault focust zich meer op **Virtual Twins**, wat de mogelijkheid biedt om alles om je heen in 3D te configureren. Waar Digital Twins 'slechts' een digitale representatie bieden van bijvoorbeeld een project of proces, bieden Virtual Twins een breder pallet aan mogelijkheden; design, simulatie, produceren en analyseren.

3. Toepassing

Barrières voor implementatie van digital twins vertragen de grootschalige adoptie

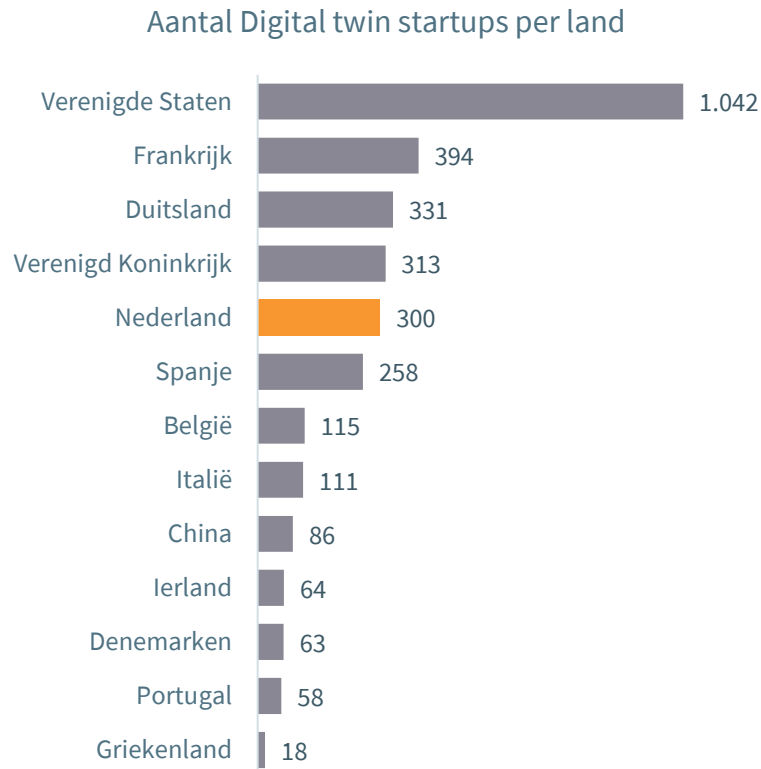
- Respondenten signaleren algemene barrières voor brede adoptie van digital twins. Aan de ene kant is het een **technisch complexe operatie**: “digital twinning heeft veel onderliggende technologieën, onderhoud en rekenkracht nodig”. Voor elke sector en applicatie zijn er meerdere concurrerende standaarden. De meeste digital twins worden nu van de grond af opgebouwd en gaan daarna beperkt mee omdat het lastig componenten te vernieuwen zonder het hele systeem te beïnvloeden.
- Aan de andere kant is **technische kennis niet genoeg**, om een specifieke sector te bedienen is ook domeinkennis nodig: “bedrijven die actief zijn hebben vaak een niche expertise nodig”. Domein-specifieke integraties zijn moeilijk te doen door grote technologiebedrijven. Deze spelers kunnen wel de basistechnologie (high level architectuur) leveren voor het bouwen van digital twins.
- Derhalve zien we wel een grote ICT en hightech populatie bedrijven die zegt bezig te zijn met digital twins en immersive technologies, maar zien we dat **sectorspecifieke bedrijven achterblijven**. De grafiek geeft een aantal voorbeelden van oorzaken die implementatie vertragen volgens recent onderzoek (*niet uitputtend*). Gegeven deze complexiteit van digital twin-projecten, zijn kleine ondernemingen die digital twins aanbieden voor specifieke niches kwetsbaar: “opschalen blijft erg lastig”.

Innovatieve bedrijven die melding maken van digital twin of immersive technology (per toepassingsgebied)



3. Toepassing

Nederland heeft een significante populatie digital twin en immersive technology gerelateerde startups



Crop X zet digital twins in om verschillende aspecten van *landbouw* te vereenvoudigen en optimaliseren, zowel voor boeren als adviseurs.



hiber.

Hiber specialiseert zich in het leveren van digital twins voor *olie en gas*. Dit maakt realtime meting van temperatuur en druk op afstand mogelijk.



Samotics gebruikt digital twins om *voorspellend onderhoud* en inzichten in *machineprestaties* te bieden, waardoor bedrijven ongeplande downtime kunnen verminderen.



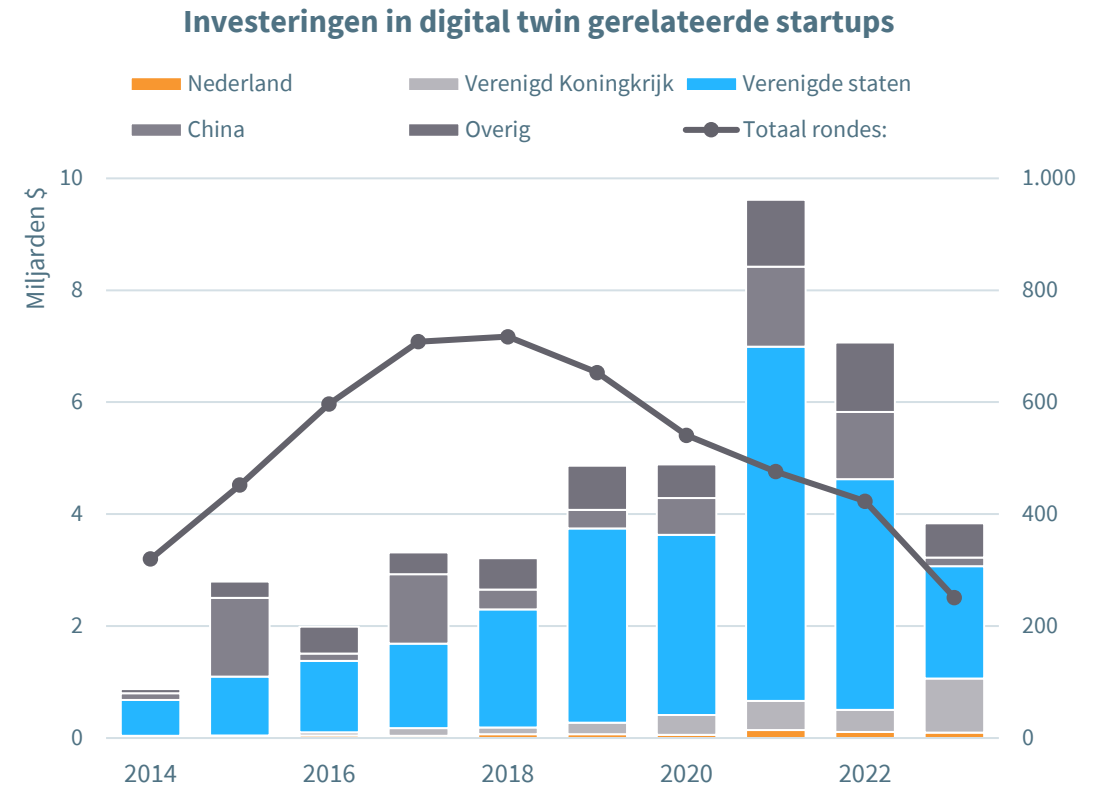
Kterio is een *vastgoed* bedrijf dat digital twins inzet om gebouwen te begrijpen, optimaliseren en beveiligen.

- Digital twin startups omschrijven zichzelf niet altijd als zodanig. Daarom kijken we in deze analyse naar **startups in specifieke sectoren waar digital twins** relevant zijn, die bezig zijn met hardware & software combinaties die primair gebruikt worden in digital twins: internet of things, 3D technologie en connected devices.
- Er is inmiddels een significante populatie startups bezig met deze technologieën in Nederland die duidelijk passen in dit profiel. In deze groep landen is de **concentratie van startups in Nederland** het hoogst.
- Zij zijn actief in allerlei verschillende sectoren, zie kader (*niet uitputtend*).
- We identificeren hiernaast ook **een populatie van 159 startups in immersive technologies**. Veel van deze bedrijven zijn gericht op serious games en andere software applicaties, minder op hardware en de onderliggende operationele technologie.

3. Toepassing

Beperkte financiële steun van durfkapitalisten voor Nederlandse startups tot nu toe

- Nederland heeft ten opzichte van de grote landen (VS, VK, China) **weinig investeringen met relatief veel startups**. Het Verenigd Koninkrijk heeft bijvoorbeeld met ongeveer een gelijk aantal startups 10 keer zoveel financiering sinds 2014.
- De voornaamste sectoren waarin wordt geïnvesteerd zijn de **gezondheidszorg, energie, transport, vastgoed en voedsel**.
- In 2021 piekte het investeringsvolume, dit valt samen met de algemene trend van durfkapitaal in de wereld en Nederland. In dit jaar werd een totaalbedrag van 140 miljoen euro geïnvesteerd, waarvan 50 miljoen in startups gerelateerd aan health, 28,7 miljoen aan telecom, 18,8 miljoen aan vastgoed, 14,6 miljoen aan energie, en 13,7 miljoen aan de voedselindustrie.
- Opvallend is het aantal geïnvesteerde rondes, dit nam scherp toe en piekte in 2017 en 2018, om vervolgens weer te dalen. Tegelijkertijd nam het geïnvesteerde totaalbedrag toe. De **geïnvesteerde bedragen per investering zijn steeds groter geworden**. Dit volgt de algemene trend van de durfkapitaalmarkt, waarin de jaren 2019-2022 de jaren met de grootste investeringsrondes waren.

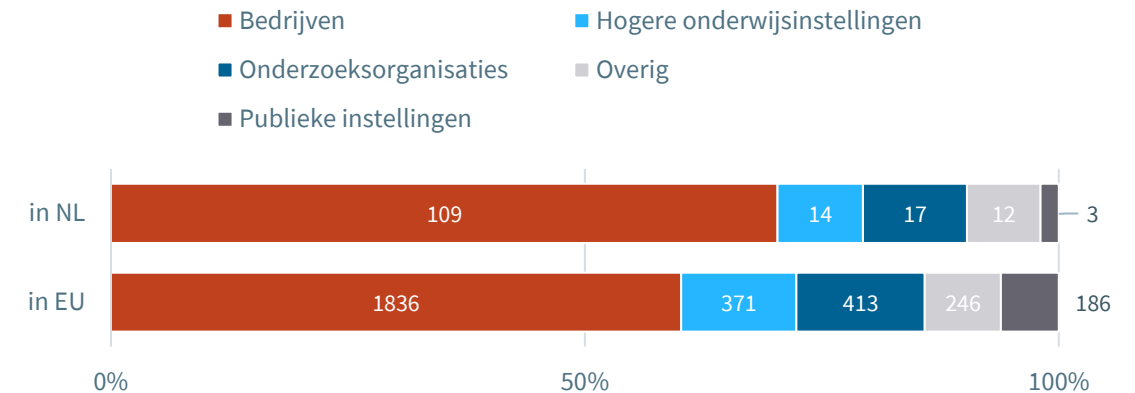


3. Toepassing

Grootschalige deelname vanuit met name industrie en logistieke bedrijven, minder uit health

- Sinds 2014 zijn er in Nederland **108 bedrijven betrokken geweest** bij het doen van R&D in Europese publiek-private samenwerkingen.
- Er zijn 13 bedrijven die vaker dan één keer hebben meegedaan aan Digital Twinning projecten. Projecten waar ze in hebben deelgenomen waren **gericht op duurzamere en efficiëntere processen gerelateerd aan topsectoren Energie, Logistiek, Water & Maritiem, en High Tech Systemen & Materialen**. De bedrijven die de meest centrale rol hebben genomen in projecten in Digital Twinning projecten zijn weergegeven in de tabel hiernaast.
- De 3 grootste en meest recente projecten met NL spelers (gestart in 2023) zijn gericht op **digital twins in de luchtvaart industrie, industriële biotechnologie of gezondheidszorg**. Ook start er een project gericht op een digital twin van het hele Europese elektriciteitssysteem.
- Ook in andere leidende Europese landen lijkt het **gebruik van digital twins het verste in industriële bedrijven**, met name in auto- en lucht- en ruimtevaartindustrieën, gevolgd door software en energiebedrijven. Landbouw-, maritieme en LSH bedrijven doen vooralsnog in mindere mate mee aan gezamenlijke onderzoeksprojecten.

Unieke deelnemers in projecten naar type



Nederlands bedrijf	Focus	Projecten
Ingeo	Duurzame keten in bouw en transport	3
MARIS	Ecosysteem management in de maritieme sector	3
Philips Consumer Lifestyle	Industrie, productieprocessen en automatisering	3
Prorail	Spoorlijnen, transport	2
Signify	Energie, elektrische systemen	2

Technologie in perspectief



Afwegingskader

Zes dimensies om nieuwe sleuteltechnologieën op te beoordelen

1. Potentie voor maatschappelijke impact

- Verwachtte bijdrage aan de missies voor maatschappelijke uitdagingen.

2. De kans op economische impact

- Verwachtte groei van de technologie, adoptie in het Nederlands bedrijfsleven en het aandeel van Nederland in ondernemerschap.

3. De relatieve positie van Nederland in de EU-12 en in de wereld

- De kennisbasis van Nederland in vergelijking tot andere landen.

4. Krachtenbundeling

- Onderzoekssamenwerkingen in Nederland en positie in samenwerkingen in Europa.

5. Potentie voor meerjarige samenwerking over de gehele keten

- Betrokkenheid van bedrijven en overheden bij onderzoekssamenwerkingen

6. Doorsnijndend karakter

- Interdisciplinariteit en integratie met andere sleuteltechnologieën van het kennisveld

1. De kans op maatschappelijke impact

Maatschappelijke bijdrage door duurzaam testen en procesoptimalisatie van complexe systemen

Digital twins en immersive technologies hebben de potentie om bij te dragen aan verschillende maatschappelijke uitdagingen en missies.

- Door het gebruik van digital twins voor onderzoeks-, simulatie-, modelleer-, test- en trainingsdoeleinden kan **energie** bespaard worden in verschillende domeinen, inclusief de gebouwde omgeving, industrie, mobiliteit en circulaire economie.
- Ook in de **landbouw** wordt met digital twins het primaire proces slimmer en efficiënter gemaakt en dragen modellen en simulaties daarbinnen bij aan het verkleinen van risico's.
- Digital twins in de **gezondheidszorg** kunnen helpen bij het verplaatsen van zorg naar de eigen leefomgeving van patiënten, bijvoorbeeld middels een virtuele assistent. Immersive technology kan in allerlei behandelingen worden toegepast.
- Digital twins dragen bij aan **veiligheid**, wanneer risicovolle training (deels) vervangen wordt door digitale training. Ook kunnen ze bijdragen aan situatieoverzicht, waardoor respons- en crisisaanpak geoptimaliseerd kan worden.

Klimaat en energie	Landbouw, water en voedsel	Gezondheid en zorg	Veiligheid
Energiebesparing in verschillende domeinen zorgt voor verminderen van broeikasgasuitstoot .	Verminderen grond- en hulpstoffen via smart farming met metingen en digitale modellen.	<i>5 jaar langere levensverwachting</i>	Integrale aanpak voor georganiseerde, ondermijnde criminaliteit door risicovrij testen van veiligheidsscenario's, resulterend in een geoptimaliseerde crisisaanpak.
CO2-vrij elektriciteits-systeem door betere operationele coördinatie.	<i>Klimaatneutraal Landbouwsysteem</i>	Ziekteafname door gepersonaliseerde zorg en real-time monitoring.	<i>Cyberveiligheid</i>
CO2-vrije gebouwde omgeving door duurzaam ontwerp en geoptimaliseerd onderhoud.	Grootschalig modelleren van scenario's middels digitale steden en gebieden draagt bij aan klimaatbestendigheid .	Zorg in eigen leefomgeving door afstemming informatie over patiënt en leefomgeving voor passende zorg.	Veiligheid in en vanuit de ruimte door slim ontwerp en onderhoud van complexe systemen.
Klimaatneutrale industrie door efficiënter inrichten van productiefaciliteiten.	<i>Duurzaam voedsel en eerlijke voedselketens</i>	Verbeterde participatie met een chronische ziekte of beperking door real-time gezondheidsmonitoring.	Maritieme hightech door voorspellend onderhoud en efficiëntie van maritieme operaties.
Emissieloze mobiliteit door onderhoud-, ontwerp- en verkeersoptimalisatie.	<i>Balans tussen ecologie en economie</i>	Digitale ondersteuning voor mantelzorgers zorgt voor verbeterde kwaliteit van leven van mensen met dementie .	Hightech landoptreden door verhoogde simulatiecapaciteit van producten, systemen, scenario's en trainingen.
Circulaire economie door procesoptimalisatie van up- en recycling .	Best leefbare delta ter wereld door modelleren natuurrampen en risico's		
Heeft directe invloed op het bereiken van missies.	Is ondersteunend voor het bereiken van missies.	<i>Geen directe bijdrage</i>	

2. De kans op economische impact

Brede toepassing van Digital Twins is mogelijk maar vraagt diepe technische en domein expertise



Dimensie	Conclusie	
Wereldwijde marktpotentie	De huidige markt voor digital twins wordt geschat op 11 miljard USD wereldwijd en groeit met gemiddeld 37% per jaar.	
Potentie voor Nederlandse sectoren	We zien in elke Nederlandse topsector mogelijke toepassingen van de technologie.	
Gebruik door grote bedrijven	Grote bedrijven zien potentie voor ontwerp en productieprocessen en investeren in digital twins en immersive technologies	
Gebruik door mkb	Kleine bedrijven durven veelal de stap nog niet aan vanwege de complexiteit en hoge instapkosten, met name voor digital twins.	
Startup activiteit	Nederland heeft een hoge concentratie startups die zich in alle sectoren bezig houden met digital twin gerelateerde tech.	
Startup investeringen	Nederland blijft achter op investeringen ondanks de brede populatie startups.	

- Het is duidelijk dat digitalisering en daarmee digital twins een grote economische impact zullen hebben op een brede verzameling aan sectoren. De technologische componenten zijn volwassen genoeg om functionerende digital twin en immersive technology systemen te leveren. De onzekerheden in de impact zitten vooral in de waargenomen drempels voor gebruik van deze nieuwe technologische concepten en de borging van de implementatie. Het is nu aan de ondernemers om potentiële gebruikers te overtuigen van de bijbehorende business case.
- De snelheid van diffusie hangt af van het relatieve voordeel dat digital twins kunnen bieden en hoe goed dit past op bestaande systemen. Voor grote bedrijven is deze barrière makkelijker te slechten dan voor mkb. Wij verwachten dat het mkb niet automatisch in kan of wil stappen in deze technologie, voornamelijk door kosten en de complexiteit die het met zich meebrengt. Door gebrek aan standaardisatie en modulariteit zijn huidige digital twin oplossingen nog niet altijd over lange termijn te gebruiken.
- Voor immersive technologies geldt dezelfde dynamiek: grote bedrijven zijn in staat de startkosten te betalen en kunnen experimenteren en bij succes implementeren, kleine bedrijven hebben die ruimte niet automatisch.

3. De relatieve positie van Nederland in de EU-12 en in de wereld

Nederland loopt niet voorop in kennisoutput maar is relatief sterk in met name Digital Twins

- Digital twins en immersive technologies zijn een groeiend kennisveld. NL is in die periode verantwoordelijk voor 2,1% van het wereldwijde digital twin onderzoek. Dat is, vergeleken met andere disciplines, meer dan 2x de verwachte wetenschappelijke output. Daarmee staat NL op de achtste plaats van de geselecteerde landen qua output in digital twin onderzoek.
- Ondanks groot verschil met de koplopende landen, staat Nederland op de vierde plaats in actieve landen die financiering krijgen voor digital twin R&D in EU projecten door betrokkenheid bij een grote hoeveelheid projecten.
- Digital twins zijn opgebouwd uit een diversiteit van hardware en software technologieën die elk technisch verbeterd kunnen worden, maar de innovatiekracht is voor de verdere ontwikkeling architectureel van aard. Dit vind dus niet plaats op componentniveau maar op systeemniveau. Voorsprong op onderzoek in de onderliggende (vaak meer generieke) componenten is daarmee minder van strategisch belang. Veel van de component ontwikkeling komt volgens respondenten nu al uit het buitenland. Doordat Nederland nu al sterk is in de integratie van deze componenten tot digital twin applicaties met bijbehorende modellen en simulaties zijn relatief minder afhankelijk.

Dimensie	Conclusie
Wetenschappelijke kwaliteit	Nederlandse respondenten stellen dat kennisontwikkeling van individuele instellingen van hoog niveau is voor digital twins. 
Internationale ranking	Nederland is in relatief hoge mate betrokken bij de ontwikkeling van kennis en de uitwisseling van kennis in internationale netwerken rond digital twins. 
Technologische kennis van strategisch belang	Digital twins en immersive technologies draaien op een combinatie van technologieën die inmiddels vrijwel altijd generiek beschikbaar zijn en waarin Nederland geen unieke positie in de wereld heeft.

4. Krachtenbundeling

Nederland doet veel mee in Europa maar heeft niet de centrale rol in publiek private samenwerking



Dimensie	Conclusie
Samenwerking met ander nationaal onderzoek	Veel kansen om met verschillende (sectorale) programma's samen te werken worden nog niet benut. 
Samenwerking met internationaal onderzoek	Nederlandse organisaties (bedrijven en kennisinstellingen) zijn middels verschillende projecten goed verbonden met koploperlanden in Europa. 
Aansluiting op regionale innovatie strategieën	Digital twins zijn niet expliciet onderdeel van een regionale strategie, maar kunnen wel als middel gezien worden om doelen rond digitalisering en verduurzaming te bereiken. 

- Digital twin onderzoek wordt gezien als nu relevant voor een diversiteit aan sectoren en toepassingen, maar is in Nederland nog gefragmenteerd. Er zijn nog nauwelijks structurele samenwerkingen op nationaal niveau, zowel aan de R&D kant als aan de applicatie kant. Daarmee is er ook minder directe verbindingen met andere programma's.
- Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen zijn actief in internationale publiek private samenwerkingsprojecten, met name waar het gaat om implementatie van digital twins in grootschalige (industriële of logistieke) processen.
- Respondenten merken een sterke samenwerking op met Duitsland (rond industrie), Frankrijk (rond o.a. visualisatie) en Engeland (o.a. digital twins en organisatorische aspecten).

5. Potentie voor meerjarige samenwerking over de gehele keten

Stijgende private interesse in samenwerking in de keten maar nog geen duidelijk leiderschap



- Ketensamenwerking wordt gezien als essentieel om de internationale concurrentiestrijd het hoofd te bieden. Respondenten stellen dat “*onze kracht ligt in het integreren van systemen, het samenvoegen van technologie en gebruikers. We putten de meeste waarde uit de manier waarop we data inzetten*”. Er is in Europese innovatieprojecten al een hoge betrokkenheid van bedrijven, van zowel corporates als MKB.
- Bedrijven komen bij het implementeren van complexe systemen zoals digital twins vaak niet uit de experimenteerfase. Er is daadwerkelijke strategievorming nodig om adoptie verder te brengen, die ontbreekt nog.
- Er is aandacht van publieke spelers voor het experimenteren met digital twin technologie.

Dimensie	Conclusie
Publiek private samenwerking	Er is al veel private interesse waar te nemen, maar er zijn meer kansen dan op dit moment worden benut. 
Leiderschap	Er zijn nog geen duidelijk aanwijsbare Nederlandse partijen die leiderschap claimen in het ecosysteem op landelijk niveau. Regionaal zijn er al wel initiatieven. 
Valorisatie	Regionale publieke spelers tonen interesse in de rol van launching customer voor digital twins, nog geen landelijke aanpak. 

6. Doorsnijdend karakter

Digital twins zijn een integratie van sleuteltechnologieën en vereisen multidisciplinair onderzoek

- Digital twins en immersive technologies overlappen maar beperkt. Digital twins laten wel significante crossovers zien met de onderliggende systeemtechnologieën die twins mogelijk maken, zoals AI en IoT. Daarnaast gebruiken digital twins allerlei meer ‘uitontwikkelde’ digitale technologieën, zoals cloud, big data en communicatie infrastructuur.
- Primair richt de kennisontwikkeling in Nederland rond technische aspecten van digital twins, maar er is een kleine groep wetenschappers die zich ook bezighoudt met ethische, sociale en rechtskundige aspecten van de technologie, zoals in het ELSA lab Contestable Urban AI.
- Aan de kant van immersive technologies zien we deze interdisciplinaire samenwerking op zowel toepassingen in e.g. geneeskunde of stedenbouw en voor reflectie op de technologische ontwikkeling via sociale wetenschappen.

Dimensie	Conclusie
Snijvlakken met andere technologie en toepassingen	Digital twins zijn een systeem van technologieën en toepassingen die in de volle breedte van de samenleving gebruikt kunnen worden. 
Diversiteit van disciplines	Potentie voor meer interdisciplinaire samenwerking tussen IT experts en sector experts en tussen bèta en gamma wetenschappers. 

Aanbevelingen



Aanbevelingen

Digital twins en immersive technologies hebben vooral steun nodig in de implementatie

Er zijn drie hoofdredenen om als Topsector ICT mee te sturen op de ontwikkeling van digital twins en immersive technologies:

1. De technologieën hebben **een hoge maatschappelijke relevantie**. De technologieën zijn breed toepasbaar in het verhogen van de efficiëntie van vrijwel alle sectoren die een grote rol spelen in de energie- en circulaire transitie en kunnen bijdragen aan het verbeteren van gezond leven en veiligheid.
2. Ondanks de technische volwassenheid is de technologie nog niet wijd verspreid. In veel gevallen wordt de pilotfase van implementatie nog niet doorbroken, wat op de lange termijn met name voor het **brede mkb van Nederland een achterstand kan opleveren**. Voor hen zijn de barrières (kosten en complexiteit) voor het gebruik van deze technologieën vaak nog te hoog.
3. Privaat kapitaal stapt nog te weinig in bij (Nederlandse) ondernemers, mogelijk mede door gebrek aan standaarden en interoperabiliteit van de digital twin platforms. Er is **meer (keten)samenwerking en leiderschap nodig** om implementatie en investeringsbeslissingen eenvoudiger te maken.



Meer plaatsen bieden voor het leren over digital twins, zoveel mogelijk aangesloten op behoeften van mkb. Opschalen via bestaande kanalen en verbinden met nationale acties (e.g. via de fieldlabs en regionale hubs) van o.a. de andere topsectoren.



Regelingen bieden voor het organiseren van gezamenlijk praktijkgericht onderzoek en valorisatie in samenwerking met andere topsectoren. Dit kan (deels) via bestaande instrumenten die samenwerking tussen mkb en kennisinstellingen organiseren.



Digital twin en immersive technology ondernemers van Nederland via bestaande internationale netwerken bekendheid geven (e.g. via NFIA, RVO, innovatieattachées, ROMs) om partners, financiers en klanten te vinden.

Bijlagen

Methode

Open Alex

Open Alex is een openbare dataset die meer dan 250 miljoen wetenschappelijke werken uit 250.000 bronnen indexeert. Het koppelt deze werken aan 90 miljoen auteurs en 100.000 instellingen, en verrijkt ze met onderwerpinformatie, SDG's, citatietellingen en meer.

- Binnen Open Alex zoeken we op basis van keywords of concepten. Met keywords zoeken we in de titel en abstract van wetenschappelijke publicaties om te selecteren. Met concepten maken we gebruik van labels die Open Alex zelf heeft toegekend naar aanleiding van een tekstanalyse van artikelen. Alle artikelen binnen Open Alex zijn voorzien van tenminste 1 concept.
- De geselecteerde publicaties verfijnen we door te filteren op jaartal en op land van de gerelateerde instelling van de publicatie om tellingen per land te realiseren.

Op basis hiervan positioneren we Nederland in termen van wetenschappelijke output.

Global campus

Global Campus biedt een geavanceerde zoekfunctionaliteit met behulp van AI om academische experts wereldwijd te identificeren. Het platform gebruikt data van OpenAlex en matches worden gebaseerd op de relevantie van de inhoud in plaats van op bibliometrische factoren.

- Om experts te identificeren op het gebied van digital twin is als afbakening de definitie hieronder gebruikt.
- Het landenfilter is ingesteld op Nederland zodat alleen experts met een affiliatie tot een Nederlandse instelling worden weergegeven.
- De zoekopdracht is verder aangescherpt door een minimum van 5 publicaties per experts in te stellen.

Op basis van deze gevonden experts en hun publicaties geven we kwalitatieve invulling aan de expertisegebieden van de Nederlandse instellingen.

Query digital twin:

A digital twin is a digital model of an intended or actual real-world physical product, system, or process (a physical twin) that serves as the effectively indistinguishable digital counterpart of it for practical purposes, such as simulation, integration, testing, monitoring, and maintenance.

Methode

Selectie opleidingen

Studentaantallen

Twee methodes zijn toegepast om een inschatting te maken van het aantal studenten dat in aanraking komt met digital twin technologie:

- Achterhalen van opleidingen waarin de technologie een component is middels passende **zoektermen en informatie uit interviews**
- Achterhalen welke opleidingen aansluiting hebben tot de technologie middels het doorspitten van **scriptiebanken** van (technische) universiteiten. De meeste zijn gevonden bij TU Delft en Eindhoven:
 - TU Delft: Mechanical Engineering (10), Electrical Engineering (5), Civil Engineering (4), Aerospace Engineering (4), Architecture (4)
 - TU Eindhoven: Mechanical Engineering (15), Computer Science (10), Built Environment (4), Industrial Engineering (2)

Het overzicht aan relevante WO-opleidingen staat in de tabel. Voor relevante HBO-opleidingen is er een doorvertaling gemaakt vanuit de geselecteerde WO-opleidingen, naast desk research. Hieruit is een kwalitatieve selectie gemaakt naar **kernopleidingen** om trends te ontdekken. Daarnaast bieden verschillende instellingen nieuwe keuze-minors aan waar studenten in aanraking kunnen komen met Immersive Technologies:

- Hogeschool Rotterdam - Real(ity) Innovations: VR / AR / MR met leerlijnen tech development, content development en user experience
- Saxion Enschede – Immersive 4D Design
- Hogeschool van Amsterdam - Immersive Environment
- HKU – Extended Reality

Geselecteerde opleidingen

WO

Kernopleidingen: Industrial Engineering, Mechanical Engineering, Computer Science, Civil Engineering, Interaction Technology, Robotics, Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek

Gerelateerd: Artificial Intelligence, Spatial Planning, Geo-Information Science, Informatica, Cognitive Neuroscience, Biomedical Engineering, Human Decision Science, Imaging Engineering, Industrial Design, Electrical Engineering, Werktuigbouwkunde, Construction Engineering, Automotive Technology, Human-Technology Interaction, Architecture, Software Engineering, Hydrology, Maritieme Techniek, Design for Interaction, Marine Technology

HBO

Kernopleidingen: Smart System Engineering, Robotica, Civiele Techniek, Serious Gaming, Engineering, Creative Media and Game Technologies

Gerelateerd: Automotive, Aviation, Informatica, ICT, Maritieme Techniek, Design Driven Innovation, Industrieel Ontwerpen, Vormgeving, Smart Industry, Mechatronica, Digital Technology Engineering, Applied AI, Next Level Engineering, Luchtvaarttechnologie, Shipping and Transport, Applied Data Science & AI

Methode

CORDIS

Ter indicatie van activiteiten in publiek private samenwerkingen in onderzoeksprojecten binnen Europa is gebruik gemaakt van CORDIS. Deze database bevat **alle onderzoeksprojecten die zijn gehonoreerd** in het Europese Horizon 2020 programma en het Horizon Europe programma vanaf 2014. en wordt beheerd door de Europese Commissie.

- Deze data is doorzoekbaar op trefwoorden in de projectdoelen. Hier is gezocht op de term: “digital twin”. Doordat deze combinatie van termen alleen voor dit concept gebruikt wordt is het een goed filter voor relevante projecten. Op basis daarvan selecteren we projecten en daarbij behorende kenmerken van organisaties, financiering en netwerk.
- Voor de netwerkanalyse maken we gebruik van “betweenness centrality” om de positie van organisaties te beoordelen. Deze maat meet het aantal keer dat een knooppunt op het kortste pad ligt tussen andere knooppunten en meet daarmee in hoeverre een organisatie een ‘brug’ is tussen delen van het netwerk.
- De data heeft ook bepaalde beperkingen. De sterke focus van grote Europese onderzoeksprojecten op grote consortia leidt tot een bias naar grotere organisaties die slagkracht hebben om de bureaucratie van een aanvraag te doorlopen. Daarnaast zijn kennis- en onderzoeksinstellingen sterk vertegenwoordigd. Dit betekent dat de data mogelijk een ondervertegenwoordiging vertoont van kleinere (nationale) samenwerkingen.

Dealroom

Dealroom is een internationale startup database die wereldwijd sinds 2010 ~370.000 startups heeft geverifieerd en **in Nederland ongeveer 10.400 startups volgt**. Van deze startups zijn allerlei kenmerken op te vragen, waaronder bijbehorende rondes investeringen.

- Binnen Dealroom maken we gebruik van de door de Dealroom gegenereerde technologie en sector ‘tags’ om bedrijven te vinden. Er is geen directe tag voor ‘digital twin’, derhalve gebruiken we een combinatie van tags. dit onderzoek gebruikten we de technologietags ‘internet of things’, ‘3D technology’ en ‘connected device’ samen met sectortags die fysieke sectoren beslaan maar pure software gedreven sectoren (zoals gaming) uitsluiten.
- Dit resulteert in een lijst van ~3.150 startup profielen wereldwijd.

Respondenten

Lijst geïnterviewde personen

Naam	Functie	Bedrijf
Omar Niamut	Director of Science	TNO
Thomas Clever	Oprichter	Clever Franke
Gijs den Butter	Oprichter	SenseGlove
Jan Verwoerd	Oprichter	360 fabriek
Jann de Waal	Oprichter INFO & Voorzitter Topteam CI	Topsector Creatieve industrie - CIIC, CLICK, INFO
Tom de Konick	Senior consultant	TNO
Sagar Dolas	Programmamanager Innovatie SURF	SURF
John Blankendaal	Managing Director	Brainport
Roy Damgrave	Assistant professor	Universiteit Twente
Yvonne van Everdingen	Professor of Marketing and Innovation & Expert Practice Director of Virtual and Augmented Reality	EUR - RSM & CDI
Andy Lüring	Mede-oprichter	Lumolabs
Yvette Tuin	Afdelingshoofd high tech systems	NWO
Paul Blank	Programmabeheerder	NWO
Petra van Dijk	Directeur	MindLabs
Marcel van de Griend	Afdelingshoofd intelligent industry	CapGemini
Melchior Kanyemesha	Kwartiermaker	CIIC

Colofon



Versie: 25-01-2024 (definitief)

Auteurs: Serina Contente, Tom Greenhead, Myrthe Maas & Bas van der Starre (bas.vanderstarre@birch.nl)

Onder begeleiding van **Topsector ICT:** Frits Grotenhuis, Jasper Renema & Inald Lagendijk