

SURF TECH TRENDS 2026

SURF



Voorwoord

De digitale transformatie heeft een fundamentele invloed op de manier waarop deelnemers aan onze samenleving – van burgers tot bedrijven en publieke organisaties – met elkaar omgaan, samenwerken, leren en presteren. De digitale ontwikkelingen gaan steeds sneller, wat bijvoorbeeld heeft geleid tot een uitzonderlijk hoge acceptatiegraad van artificial intelligence (AI) in de afgelopen jaren. Dit zien we ook terug in de integratie van AI in eindgebruikerstoepassingen (bijvoorbeeld Copilot, WhatsApp), maar ook in andere lagen van de zogenaamde digitale technologiestack, zoals computing, extended reality (XR), datanetwerken en datamanagement.

Deze voortdurende digitale transformatie is van cruciaal belang voor de SURF-coöperatie, een samenwerkingsverband van nationale onderwijs- en onderzoeksinstituten.

Voor de meeste leden van SURF is het een uitdaging om te anticiperen op de potentiële toegevoegde waarde, risico's en impact van opkomende digitale technologieën en om op verantwoorde wijze om te gaan met onderwerpen als digitaal vertrouwen, digitaal welzijn en digitale autonomie.

Het is voor de SURF-coöperatie essentieel om naar de toekomstige horizon van digitale ontwikkelingen te kijken. Het is belangrijk dat de sector opkomende technologieën benut voor onderzoek en onderwijs, met publieke waarden als uitgangspunt. Hiervoor zijn toekomstverkenning, scenarioplanning en technologie-exploratie nodig. Dit is noodzakelijk om de horizon te verkennen, te identificeren wat er waarschijnlijk zal opkomen en om de potentiële waarde en impact van digitale technologieën op onderzoek en onderwijs in kaart te brengen.

De futuringactiviteiten van SURF ondersteunen de coöperatie om gezamenlijk te leren en onze capaciteiten met betrekking tot onze future readiness te verbeteren. De voortdurende technologieverkenning en kennisontwikkeling van SURF ondersteunt een diepgaand begrip van de uitdagingen, risico's en impact van opkomende technologieën voor onze sector.

Wij zijn er trots op dat dit SURF Tech Trends-rapport één van de activiteiten en middelen is waarmee we met de leden samenwerken en de verschillende belanghebbenden binnen onze coöperatie handvatten bieden om te handelen.

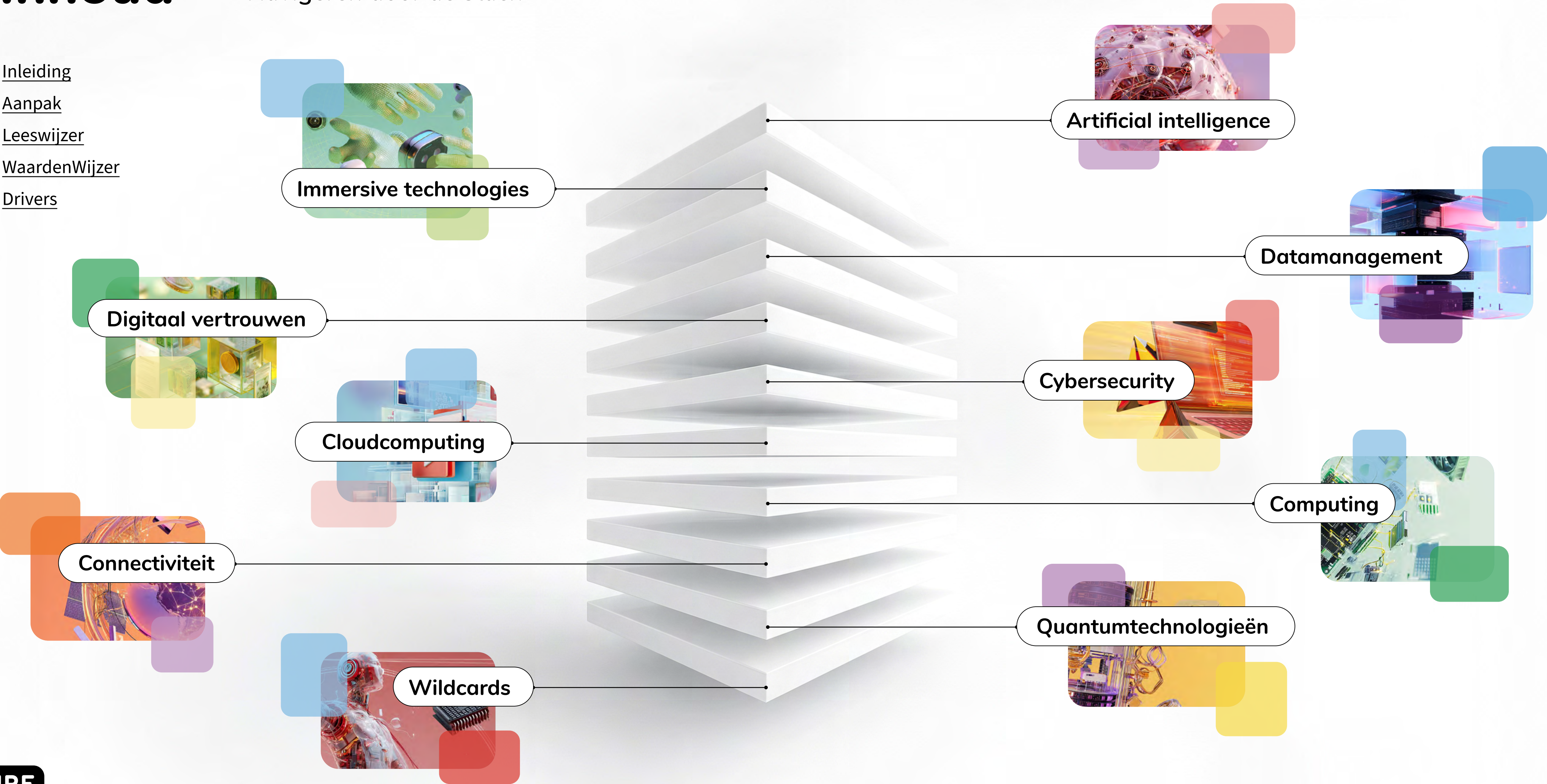
Hans Louwhoff en Ron Augustus
(Raad van Bestuur SURF)



Inhoud

Navigeren door de stack

- [Inleiding](#)
- [Aanpak](#)
- [Leeswijzer](#)
- [WaardenWijzer](#)
- [Drivers](#)



Inleiding

In een snel veranderende, dynamische omgeving kan het een uitdaging zijn om de ontwikkelingen bij te houden. Met het vorige Tech Trends-rapport (2023) hebben we een begin gemaakt met het ondersteunen en faciliteren van de SURF-coöperatie door relevante trends voor onderwijs en onderzoek te indentificeren, te selecteren en van context te voorzien. In vergelijking met 2023 is deze editie groter, gedurfder en gaat ze verder.

Groter

Bij de totstandkoming van dit Tech Trends-rapport hebben ongeveer dertig professionals van meer dan twintig aangesloten instellingen samen met SURF-collega's deelgenomen aan werkgroepen. Samen hebben we tien technologiegerichte hoofdstukken uitgewerkt die we in dit rapport presenteren.

Naast de werkgroepen hebben we ook andere belanghebbenden met kennis en ervaring betrokken om input te leveren over de tech trends.

Gedurfder

Voor elke trend hebben we gekeken naar de mogelijke impact ervan op onderwijs, onderzoek en operations. Operations is een nieuw impactgebied dat is toegevoegd omdat we zien dat IT een steeds integraler onderdeel wordt van een instelling of campus.

Naast de negen technologie-ingestoken hoofdstukken, is een hoofdstuk met wildcard-onderwerpen toegevoegd. Het gaat om onderwerpen die zowel black swans als grey rhinos kunnen zijn vanwege hun niet voor hand liggende en minder voorspelbare karakter op dit moment.

Verder

Omdat we ons bewust zijn van onze eigen vooroordelen in onderwijs en onderzoek, hebben we ook externe stakeholders geraadpleegd, waaronder leiders en experts uit het bedrijfsleven.

De opgenomen perspectieven weerspiegelen zowel grote bedrijven als Europese en wereldwijde gezichtspunten. Hun gedeelde inzichten zijn verweven door het hele rapport.

Enkele opvallende punten om rekening mee te houden

Over het geheel genomen springen in dit rapport een paar observaties eruit die bijzondere aandacht verdienen de komende periode:

- AI heeft een aanzienlijke invloed op de trends. Daarom kunnen we AI beschouwen als een systeemtechnologie.
- Er is een sterke focus op efficiëntie (meer doen met minder) in technologieën.
- Er moet meer aandacht worden besteed aan digitale vaardigheden om de digitale transformatie te begeleiden, vooral in het kader van cybersecurity.
- Er is een sterke neiging om alleen naar de VS te kijken, en we mogen andere landen zoals Singapore en China niet over het hoofd zien.
- Nu er veel in beweging is, doen zich strategische kansen voor om de positie van Nederland op internationaal niveau te versterken.

Gül Akcaova (lead futurist SURF)

Aanpak

Onze projectprincipes

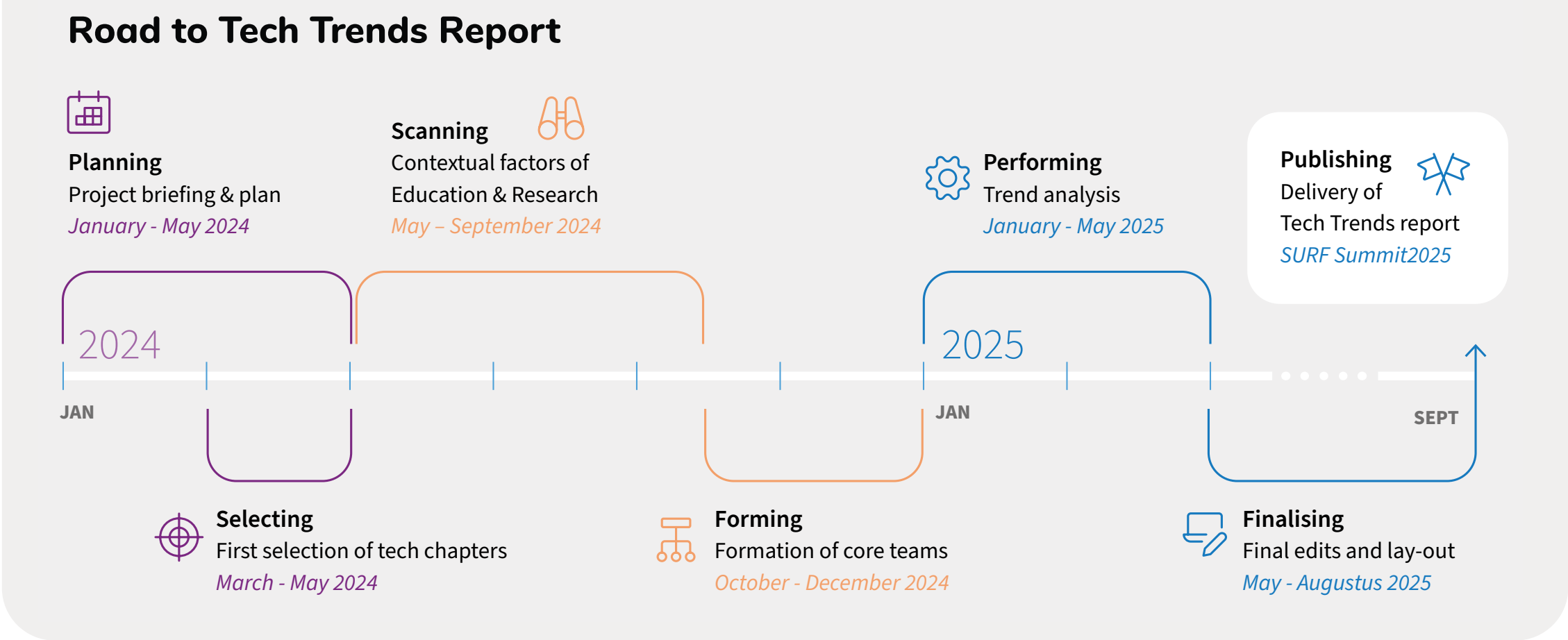
- In samenwerking met SURF-leden, aangezien het rapport voornamelijk voor de leden is bedoeld
- IT-gerichte visie
- Buiten-binnen perspectief
- Trendcuratie in plaats van trendwatching
- Leesbaar voor bestuursleden en C-suite-functionarissen.
- (Uitvoerbare) inzichten voor CIO's, informatiemanagers, beleidsadviseurs enz.
- Impactbeoordelingen (kansen en bedreigingen) wat betreft onderwijs, onderzoek en operations, in plaats van SURF-aanbevelingen.
- Meer ontworpen als gespreksstarter dan als marketingrapport of praktische gids.

Selectie van de hoofdstukken

Er zijn meer dan 23 technologierapporten geïdentificeerd, gescand en geclusterd. Uiteindelijk hebben we gekeken naar en geïdentificeerd wat de gemeenschappelijke noemers zijn die hebben geleid tot de negen hoofdstukken. Voor extra inspiratie is een hoofdstuk met wildcards toegevoegd.

Selectie van de trends

De werkgroepen werden gevormd op basis van een 'oproep tot expertise/bijdragen', die op grote schaal werd verspreid. Op basis van de getoonde interesse streefden we naar evenwichtige groepen per hoofdstuk. Op 10 oktober 2024 vond de kick-off plaats om de basis te leggen voor het scannen (literatuuronderzoek), valideren (interviews en raadpleging) en analyseren (groepsdiscussies) van de trends als groepen.



Op 7 mei 2025 werd een expertconsultatie georganiseerd, waarbij een gemengde groep uit de coöperatie werd uitgenodigd om de herkenbaarheid en relevantie van de door de werkgroepen geselecteerde trends te beoordelen (zie dankwoord).

In de loop van de zomer hebben de redacteurs de inhoud herzien, de kwaliteit beoordeeld en recensenten geraadpleegd om de inhoud

van dit rapport verder te verbeteren en de toegankelijkheid ervan te waarborgen.

AI-gebruik

AI (LLM's) werd door verschillende werkgroepen gebruikt om documenten te analyseren, trends te beoordelen en de schrijfstijl te verbeteren. AI werd ook gebruikt door de grafisch ontwerper voor de coverafbeeldingen van de hoofdstukken.

Leeswijzer

Introductie van de trend

Hoofdstuk

Signalen voor deze trend

Trendnummer

Trend

Publieke waarden

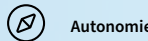
Volwassenheid

Drivers

TREND #1

Toenemende toepassing van FAIR-principes ter versterking van digitale ecosystemen in Europa

Publieke waarden



Autonomie



Rechtvaardigheid

Integriteit | Transparantie | Duurzaamheid



Menselijkheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Bestuurders

Dynamiek binnen gemeenschappen en maatschappelijke samenhang; Globalisering; Digitale transformatie

SURF

De FAIR-principes zijn richtlijnen voor datasets die vindbaar, toegankelijk, interoperabel en herbruikbaar zijn. Een toenemende toepassing van FAIR-principes kan leiden tot digitale ecosystemen, een web van FAIR-data en -diensten, waar digitale bronnen niet alleen worden gedeeld, maar ook semantisch worden gekoppeld, automatisch worden geïnterpreteerd en betrouwbaar worden hergebruikt in verschillende domeinen.

Naast data is een belangrijke ontwikkeling de toepassing van FAIR-principes op alle onderzoeksresultaten, inclusief ondersteunende kaders zoals software, workflows voor berekeningen en wetenschappelijke modellen. Deze convergentie wordt mogelijk gemaakt door FAIR Digital Objects (FDO's), die permanente identificatiecodes en rijke metadata omvatten, naast Knowledge Graphs (KG's) die de semantische relaties tussen deze FDO's structureren. De verschuiving naar het toepassen van FAIR op meer dan alleen 'data', namelijk ook op digitale

onderzoeksoBJECTEN, maakt automatisering, reproduceerbaarheid en het vinden van informatie mogelijk, terwijl het ook innovatie op grotere schaal tussen verschillende domeinen bevordert.



Datamanagement

SURF TECH TRENDS 2026

≡ < >

Ga naar de inhoudsopgave

Navigeer door de pagina's

SIGNALEN

Initiatieven & organisaties

GO FAIR-initiatief [@go.fair.org](#)

EOSC (European Open Science Cloud) [@eosc.eu](#)

FDO Forum [@fdo.eu](#)

OpenAIRE [@openaire.eu](#)

"Het web van FAIR-data en -diensten is een hoeksteen voor de toekomst van digitale ecosystemen." - Paula Manghi, OpenAIRE, CTO

Implementaties

Ardhis FAIR Data Services - biedt onderzoekers tools voor het ontdekken en classificeren van datasets en het doorbladeren van metadata [@ardhis.org](#)

Fairdata.it - biedt diensten voor gegevensopslag en -ontdekking ter ondersteuning van FAIR-principes en van langdurige bewaring te garanderen [@fairdata.it](#)

FAIRsharing.org - biedt een samengevoegde, informatieve bron over gegevens- en metagegevensstandaarden, die verband houden met databases en gegevensbeheer [@fairsharing.org](#)

Open Research Knowledge Graph (ORKG) - wetenschappelijke community die gebruikmaakt van de mogelijkheden van digitalisering [@orkg.eu](#)

Zenodo [@zenodo.org](#)

FAIRImpact project [@fair-impact.eu](#)

Ondersteunende literatuur

Op weg naar het Open Science-model: publiceer uw ruwe data [@open-science.eu](#)

Analysis van open data als basis voor data gedreven onderzoek [@link.springer.com](#)

Lelide Verklaring over FAIR Digital Objects [@lelides.eu](#)

SURF

≡ < >

Lees meer over het signaal online

IMPACT

Onderwijs

- Knowledge Graphs (KG's) worden geïntegreerd in leeromgevingen (learning management systems, LMS'en) zoals Brightspace en Canvas om relaties tussen leerdoelen, lesmateriaal en competenties te modelleren.
- Door verbanden te leggen tussen leerprofielen, leerprogressie en cursusevaluaties, maken KG's gepersonaliseerd leren mogelijk via adaptieve leertrajecten.

Onderzoek

- Het netwerk van FAIR-data en -diensten heeft een aanzienlijke invloed op onderzoek door wetenschappelijke ontdekkingen te versnellen en herbruikbaarheid van data te bevorderen.
- FAIR Digital Objects (FDO's), versijkt met gedetailleerde metadata en versiebeheer, verbeteren de reproduceerbaarheid, traceerbaarheid en herbruikbaarheid van onderzoeksdata, software en workflows.

Operations

- Knowledge Graphs (KG's) kunnen operationele systemen verbeteren door gegevens uit leeromgevingen (LMS'en) en studenteninformatiesystemen (SIS'en) aan elkaar te koppelen.
- Door de integratie van KG's kunnen instellingen het traject van studenten in kaart brengen, van voor de toelating tot het afstuderen en de daaropvolgende betrokkenheid van alumni.



SURF

≡ < >

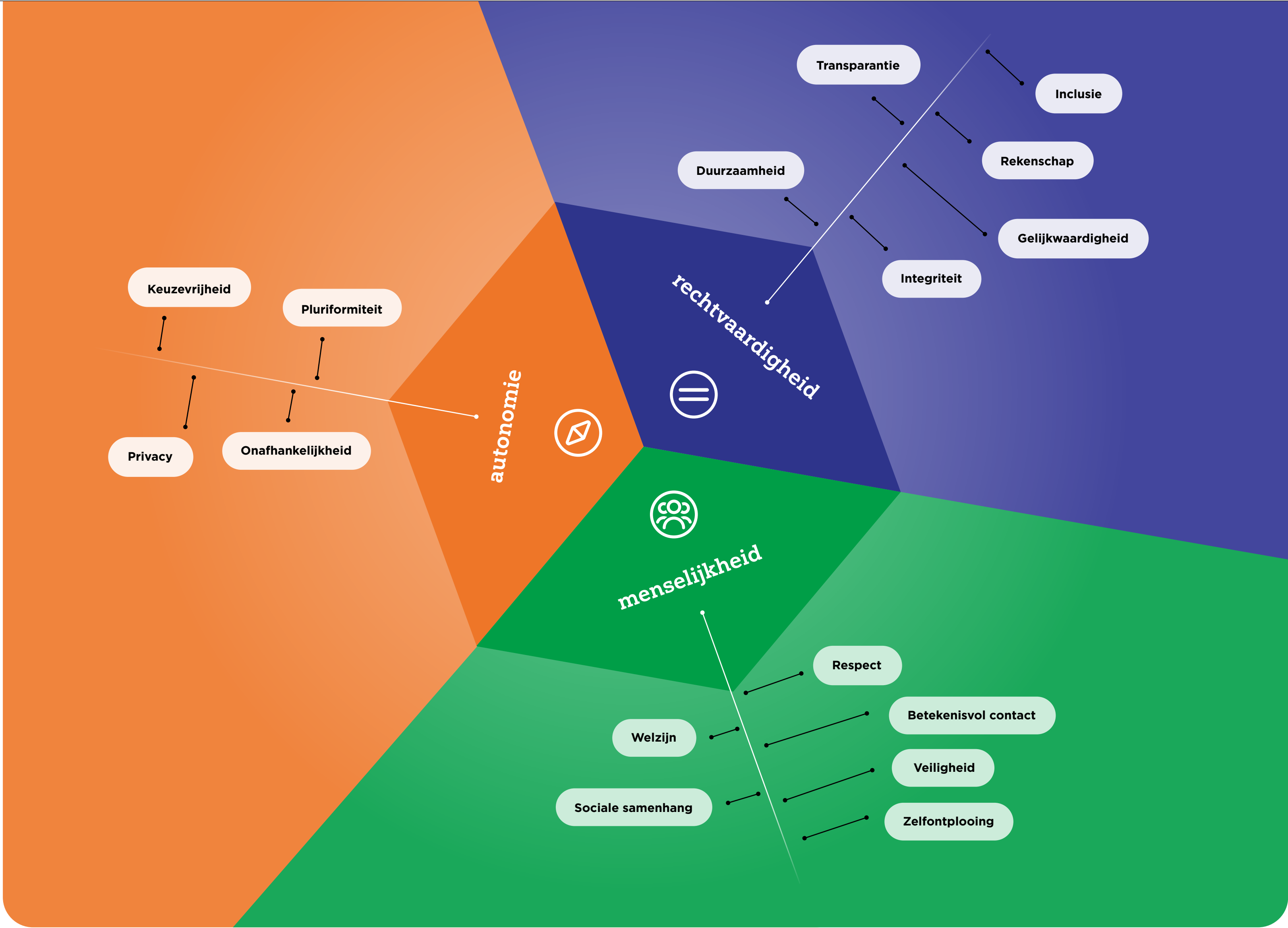
Impact van de trend op onderwijs, onderzoek en operations

WaardenWijzer

SURF en Kennisnet, de publieke IT-organisaties voor het onderwijs in Nederland, hebben De WaardenWijzer ontwikkeld om een gemeenschappelijke taal te bieden die de dialoog over digitale transformatie in het onderwijs en het belang van onderwijswaarden stimuleert.

De [WaardenWijzer](#)  biedt een referentiekader voor het structureren van digitale transformatie op basis van waarden.

Bij iedere trend is gekeken welke publieke waarden ermee samenhangen. De WaardenWijzer helpt te identificeren welke waarde(n) richtinggevend zijn voor de ontwikkeling van de trend.



Drivers

We leven in een steeds complexere en onderling verbonden wereld waarin krachtige drivers (drijfveren) de fundamenteën van de samenleving en daarmee ook het onderwijs en onderzoek beïnvloeden en hervormen. Deze drivers omvatten maatschappelijke verwachtingen, geavanceerde technologieën, economische verschuivingen, urgente milieukwesties en veranderende beleids- en regelgevingskaders.

Deze drivers opereren niet op zichzelf; hun samenspel veroorzaakt zowel ontwrichting als kansen, waardoor traditionele modellen van kennis en institutionele doelstellingen op de proef worden gesteld, in een context die veranderlijk en/of meer onvoorspelbaar is. Inzicht in deze drivers is niet alleen essentieel om relevant te blijven, maar ook om betere beslissingen te nemen en ons voor te bereiden op een toekomst die al begonnen is.

Maatschappelijk en demografische drivers

- Individualisering & empowerment
- Demografische veranderingen (vergrijzing, migratie en identiteiten)
- Belang van kennis en vaardigheden
- Geestelijke gezondheid en welzijn
- Dynamiek binnen gemeenschappen en maatschappelijke samenhang

Economische drivers

- Wereldhandel en handelshellingen
- Globalisering
- Concentratie van rijkdom en economische ongelijkheid
- Dienstgerichte en waardegedreven economieën
- Digitale transformatie

Politiek-bestuurlijke en wetgevende drivers

- Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit
- Regelgeving en naleving (compliance)
- Kritieke infrastructuur
- Politieke/strategische inzet van kennis
- Ideologische polarisatie

Technologische drivers

- Automatisering en AI
- Technologische vooruitgang en computation
- Biotechnologie
- Connectiviteit en interactie
- Cybersecurity en vertrouwen

Ecologische drivers

- Klimaatverandering en opwarming van de aarde
- Energievoorziening en -vraag
- Schaarste aan grondstoffen
- Vraag naar schoon water
- Biodiversiteit

Artificial intelligence

Auteurs

Frank Benneker (Universiteit van Amsterdam), **Heleen van der Laan** (ROC van Amsterdam-Flevoland), **Natasha Alechina** (Open Universiteit), **Rob van de Star** (Windesheim), **Lars Veeffkind** (SURF), **Simone van Bruggen** (SURF), **Julius Ceasar Aguma** (SURF)

1. Meer gediversifieerde toegang tot grote AI-modellen

2. Veranderende dynamiek in responsible AI

3. Toename van co-evolutie tussen hardware en AI

4. Samenwerking tussen mensen en AI

5. Van grote tot kleine taalmodellen

Inleiding

De afgelopen jaren heeft de volledige realisatie van de zogenaamde transformer-architectuur (een digitaal neurale netwerk dat enorme hoeveelheden gegevens kan verwerken) het landschap van artificial intelligence (AI) volledig veranderd. De meeste AI-R&D richt zich tegenwoordig op Generatieve AI (GenAI), een subgebied dat computationele modellen gebruikt om tekst, afbeeldingen, video en audio te genereren.

In veel landen ontwikkelen door de overheid gefinancierde organisaties grote AI-modellen voor toepassingen in onderwijs, onderzoek en gezondheidszorg. Tegelijkertijd integreren steeds meer organisaties GenAI in hun producten en diensten voor commerciële doeleinden. Bedrijven zoeken naar real-world AI-toepassingen die onder andere efficiëntie bevorderen, terwijl ze tegelijkertijd streven naar een verantwoorde inzet van AI in die toepassingen. Zo

is er bijvoorbeeld een toename in het gebruik van AI-Concierge, waarbij AI gebruikers, zoals hotelgasten, 24 uur per dag kan assisteren met vragen via populaire messaging-apps.

Een cruciale belemmering voor de inzet van GenAI is dat zowel consumenten als veel medewerkers onvoldoende kennis hebben van het opstellen en optimaliseren van prompts. Anders gezegd: een gebruiker moet weten welke instructies aan een GenAI-model moeten worden gegeven om het resultaat te verkrijgen. Agentic AI is hierdoor steeds prominenter geworden als oplossing voor gebruikers met beperkte AI-ervaring. Hierbij voert het AI-systeem autonoom vooraf bepaalde taken uit en is minimale menselijke supervisie nodig.

Grootschalige AI-modellen (die worden getraind met behulp van enorme datasets) worden steeds breder beschikbaar en toegan-

kelijk, en de toepassingen rond deze modellen vinden steeds vaker hun weg naar het dagelijks gebruik. Ook andere nieuwe vormen van mens-computerinteractie (human-computer interaction; HCI) op basis van AI en concepten zoals AI Love (waarbij mensen persoonlijke en emotionele banden met AI-systemen aangaan) krijgen steeds meer aandacht.

Een belangrijk gevolg van de vooruitgang op het gebied van AI is dat het nu een belangrijk onderwerp van geopolitieke belangstelling en controversen is. In wezen is AI een belangrijk instrument in de politieke wereld en vertegenwoordigt het nu de grootste asset in het geopolitieke spel om AI-suprematie. Overheden investeren meer in de ontwikkeling van AI-modellen en ondersteunende infrastructuur, omdat ze zich willen profileren als AI-supermachten om het volledige potentieel van AI voor de bredere samenleving en de nati-

onale veiligheid te realiseren. De race naar dominantie in AI lijkt helaas ten koste te gaan van verantwoorde en ethische AI-praktijken, waarbij het gaat om principes zoals trustworthiness (betrouwbaarheid), explainability (uitlegbaarheid) en human-centric AI (mensgericht ontwerp).

Bijdragers

Bas Smit (Erasmus Universiteit Rotterdam), **Duuk Baten** (SURF), **Bertine van Deyzen** (SURF), **Erna Sattler** (Universiteit Leiden), **Damian Podareanu** (SURF)

TREND #1

Meer gediversifieerde toegang tot grote AI-modellen

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Transparantie Betrouwbaarheid Duurzaamheid
	Menselijkheid	Welzijn

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Individualisering en empowerment; Geestelijke gezondheid en welzijn; Belang van kennis en vaardigheden; Automatisering en AI; Connectiviteit en interactie

Sinds ChatGPT in 2022 beschikbaar en toegankelijk werd voor grootschalig gebruik, hebben grote taalmodellen (LLM's) wereldwijd enorm aan populariteit gewonnen. Zo bereikte ChatGPT binnen enkele dagen na de lancering al 1 miljoen gebruikers, wat leidde tot een meer gediversifieerde toegang tot LLM's en als katalysator fungeerde voor de toenemende integratie van AI in veel dagelijkse workflows. Toegang tot AI wordt vergemakkelijkt door browsergebaseerde tools (ChatGPT, Claude en DeepSeek) en door integraties in diensten en producten van leveranciers zoals Google (bijv. Docs) en Microsoft (bijv. Copilot, Outlook).

Bedrijfsmodellen variëren van freemium-niveaus tot pay-per-use API's. Gebruikers hebben nu de keuze tussen cloudgebaseerde AI-oplossingen of kleinere, lichtgewicht modellen die lokaal worden uitgevoerd. Tegelijkertijd hebben open-source-initiatieven bijgedragen aan de gevarieerde toegang tot en democratisering van LLM's



en tools. Deze ontwikkeling verandert de manier waarop we schrijven, coderen, onderzoek doen en omgaan met AI, en zelfs met elkaar.

SIGNALEN

Aantal GPT-gebruikers

De meeste studenten gebruiken ten minste één van de beschikbare platforms om toegang te krijgen tot een foundation-model.

- hepi.ac.uk 
- campustechnology.com 
- insidehighered.com 
- bibliotheek.educause.edu 

OpenAI is momenteel het populairst. Andere opties zijn Claude van Anthropic, Meta, Google-opties zoals LM Notebook & Gemini (datastudios.org) 

Eind 2024-begin 2025 heeft DeepSeek ondanks veiligheidsrisico's behoorlijk wat aandacht gekregen (dig.watch) 

Volgens Semrush was OpenAI in april 2025 de nummer vijf website (semrush.com) 

ChatGPT is niet de enige chatbot die gebruikers wint (techcrunch.com) 

Gartner: waarom taakspecifieke AI-modellen LLM's zullen vervangen.

(aimagazine.com) 

Snelle opkomst van generatieve AI: de toonaangevende bedrijven. (iot-analytics.com)

Groeiend aantal beschikbare modellen (& aanbieders) op Huggingface. (huggingface.co)

Vaticaan: nieuw document van het Vaticaan onderzoekt mogelijkheden en risico's van AI. (vaticannews.va)

Europese AI in opkomst

- openeurollm.eu 
- swiss-ai.org 
- gpt-nl.nl 
- galaxus.nl 
- swiss-ai.org 

Verliest de zoekmachine terrein ten opzichte van AI-chatbots?

- economictimes.indiatimes.com 
- mashable.com 

IMPACT



Onderwijs

- De gediversifieerde toegang tot AI biedt zowel kansen als uitdagingen voor docenten door routinematige taken te automatiseren, waardoor zij zich kunnen concentreren op lesgeven en persoonlijke begeleiding, maar tegelijkertijd moeten zij zich aanpassen aan een door AI gedreven onderwijslandschap.
- Naarmate studenten steeds vaker gebruikmaken van AI-chatbots voor leren, productiviteit en algemene cognitieve ontlasting, kan dit aanzienlijke gevolgen hebben voor traditionele begeleidingsrollen en menselijke vaardigheden zoals kritisch denken. Onder studenten kan de digitale kloof groter worden door verschillen in kennis, toegang en toestemming om digitale middelen te gebruiken.



Onderzoek

- In wetenschappelijk onderzoek kan AI de analyse van gegevens versnellen, de interpretatie van teksten verbeteren en het genereren van hypothesen ondersteunen. Dit draagt bij aan een hogere snelheid en grotere diepgang van wetenschappelijk onderzoek.
- Uitdagingen zijn onder meer zorgen over auteursrechten en intellectueel eigendom, het risico van desinformatie in gegenereerde content en het gevaar dat onderzoekers te veel gaan vertrouwen op AI-tools. Er worden meer voorstellen en papers geproduceerd, wat de beoordelingslast vergroot.
- LLM's worden steeds vaker ingezet als onderzoeks-partner (research agents/mede-wetenschappers).



Operations

- Institutionele processen worden vereenvoudigd door routinematige of repetitieve taken te automatiseren, informatiebeheer te verbeteren en slimmere workflows mogelijk te maken.
- Instellingen moeten omgaan met uitdagingen zoals mogelijke problemen met auteursrechten en eigendom van gegevens, het risico van verspreiding van desinformatie, de vermindering van menselijk toezicht en bezorgdheid over de ecologische impact van grootschalige AI-implementaties.
- Diensten en producten die AI mogelijk maken, kunnen leiden tot onbevoegde gegevensverwerking, contractbreuk en vereiste data protection impact assessments (DPIA's).

TREND #2

Veranderende dynamiek in responsible AI

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Integriteit Gelijkwaardigheid Inclusie
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

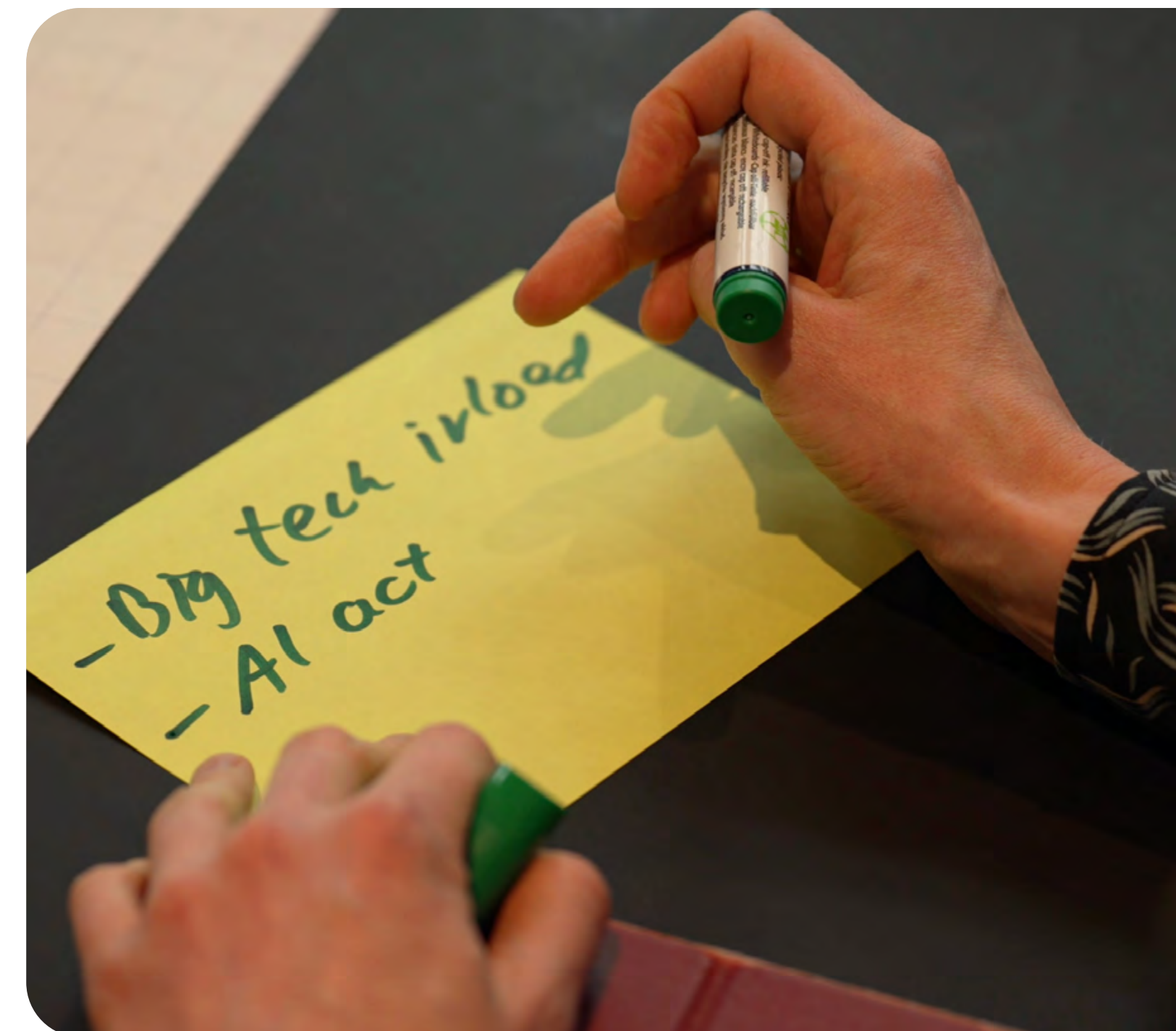
Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit; Concentratie van rijkdom en economische ongelijkheid; Regelgeving en naleving (compliance)

De EU wordt gezien als de wereldwijde leider op het gebied van regulering in vergelijking met de VS. De AI Act, het eerste regelgevingskader ter wereld dat is gebaseerd op risico's, transparantie en rechten, toont aan dat de EU de verdediger is van responsible AI.

Ondanks deze baanbrekende wetgeving hebben recente geopolitieke gebeurtenissen – voornamelijk in de VS – de aandacht verschoven van ethiek en mensgerichte AI naar nationale veiligheid en economische concurrentie. Grote technologiebedrijven schroeven hun toezeggingen op het gebied van responsible AI terug door hun ethische commissies te ontbinden en concurrentievermogen voorrang te geven boven transparantie en verantwoorde implementatie.

Er zijn echter signalen dat veel bedrijven over de hele wereld wel degelijk verantwoordelijke AI willen implementeren, maar dat ze daarvoor ondersteuning of mechanismen missen. Hoewel de schaal over het algemeen klein is, wordt er vooruitgang

geboekt bij het opzetten van programma's voor responsible AI. Toch blijft er een kloof bestaan tussen intentie, woorden en daden op het gebied van responsible AI.



SIGNALEN

Bedrijven zoals Google en anderen ontbinden hun ethische commissies en ontslaan werknemers die betrokken zijn bij ethische vraagstukken.

- [wired.com](#) 
- [startupdaily.net](#) 
- [wired.com](#) 

Denk twee keer na voordat u DeepSeek gebruikt: uitleg over beveiligings- en vertrouwenskwesties.

([carleton.edu](#)) 

Het Verenigd Koninkrijk heeft plannen om AI te reguleren uitgesteld, omdat ministers zich willen aansluiten bij de regering-Trump.

([theguardian.com](#)) 

Het voorstel van de Europese Commissie voor de AI Liability Act, waarmee het gebruik van auteursrechtelijk beschermd materiaal voor AI-trainingen onder de auteurswet zou vallen, is door de Commissie ingetrokken.

- [openai.com](#) 
- [mayerbrown.com](#) 
- [musicbusinessworldwide.com](#) 

Onderzoek van Harvard Business Review (HBR): hoe responsible AI de winst beschermt. ([hbr.org](#)) 

Iets meer dan de helft (52%) van de bedrijven heeft daadwerkelijk een programma voor responsible AI, blijkt uit gegevens van BCG. ([bcg.com](#)) 

87% van de managers erkent het belang van responsible AI (RAI) - MIT Technology Review. ([technologiereview.com](#)) 

“Er zijn steeds meer aanwijzingen dat veel grote technologiebedrijven terugkomen op hun toezeggingen om verantwoord om te gaan met AI.”

- Virginia Dignum, hoogleraar AI en directeur van het AI Policy Lab, Universiteit van Umeå

IMPACT



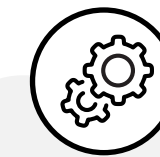
Onderwijs

- De auteursrechtelijke bescherming van lesmateriaal wordt uitgehold en er is behoefte aan een effectievere manier om studenten te leren hoe ze op een verantwoorde en veilige manier met GenAI kunnen omgaan.
- Studenten moeten leren om niet blindelings te vertrouwen op GenAI-modellen, en zoals Virginia Dignum zegt, moeten ze worden opgeleid om zich te bewegen in een bedrijfscultuur die steeds ambivalenter staat tegenover responsible AI.



Onderzoek

- Auteursrecht kwesties hebben invloed op onderzoek met GenAI-modellen. Onderzoekers hebben toegang nodig tot onafhankelijk ontwikkelde modellen, in plaats van alleen modellen die zijn afgeleid van grote technologiebedrijven, om juridische complicaties te voorkomen en verantwoorde innovatie te bevorderen.
- Industriële samenwerkingsverbanden kunnen worden beïnvloed door uiteenlopend beleid op het gebied van gegevensbeheer en -verwerking.
- Onafhankelijk onderzoek naar de impact van AI op de samenleving moet prioriteit krijgen.



Operations

- De beoordelingsmethoden moeten opnieuw worden bekeken omdat OpenAI geen maatregelen heeft genomen om fraude bij cursussen te voorkomen.
- Er zijn duidelijke richtlijnen nodig voor studenten en medewerkers over het gebruik van GenAI.
- Offline modellen voor educatief gebruik moeten aan eindgebruikers worden verstrekt.
- Voorzichtigheid is geboden bij het gebruik van GenAI voor administratieve taken, met name wat betreft gegevensbescherming en ethische kwesties.

TREND #3

Toename van co-evolutie tussen hardware en AI

Publieke waarden

 Autonomie Onafhankelijkheid

 Rechtvaardigheid Gelijkwaardigheid

 Menselijkheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

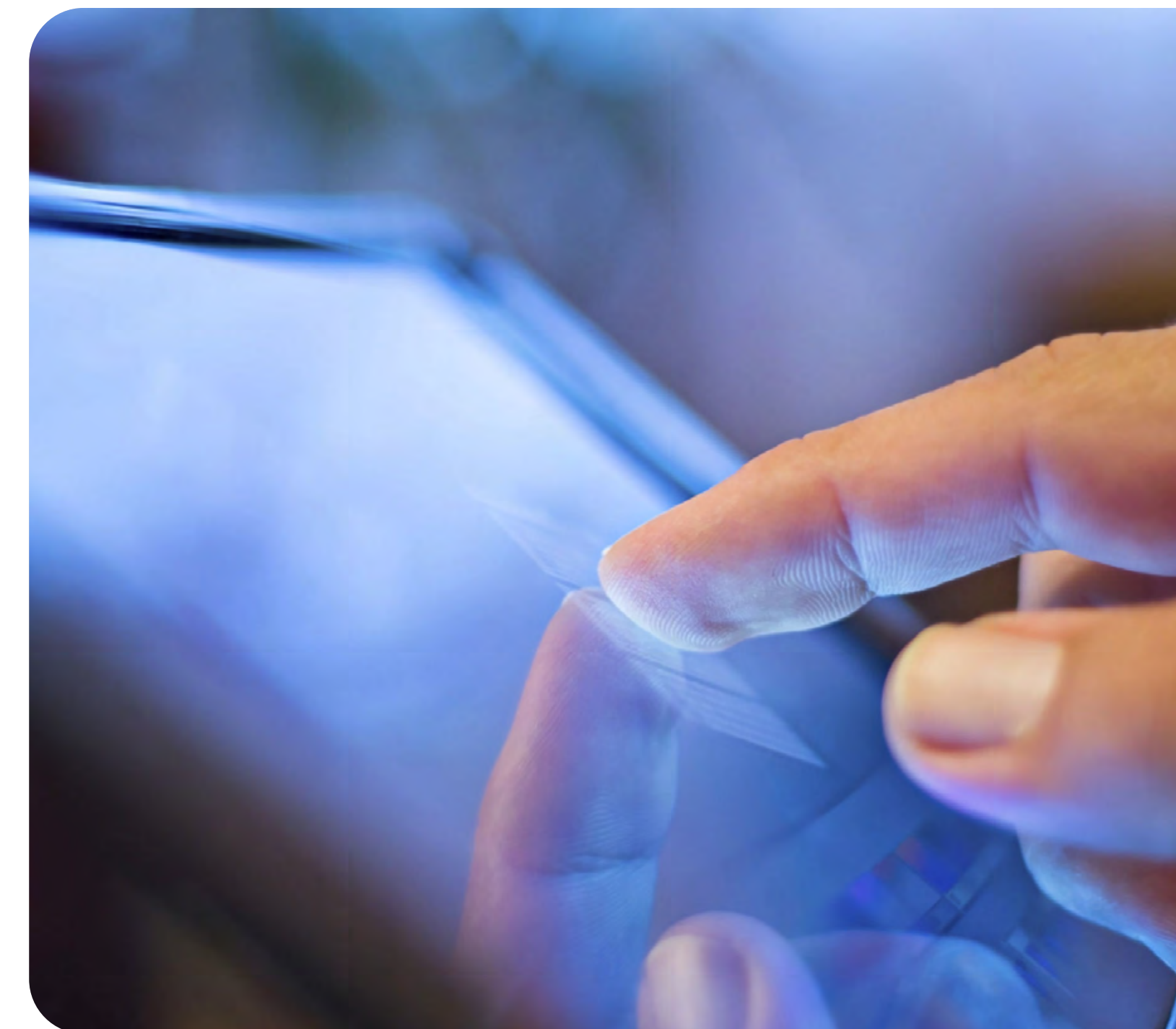
ACT

Drivers

Automatisering en AI; Technologische vooruitgang en computation; Energievoorziening en energievraag; Schaarste aan grondstoffen

Hoewel hardware aanvankelijk de berekeningen voor AI vergemakkelijkte, wordt het nu een beperkende factor, waardoor AI-ontwikkelingen moeten worden aangepast aan de computerinfrastructuur. De groeiende populariteit en toegankelijkheid van AI-modellen zorgen voor een aanzienlijke verschuiving in hardware-innovaties. AI-modellen worden sneller groter en complexer dan de vooruitgang in de in te zetten general-purpose computertechnologieën.

In het vorige SURF Tech Trends-rapport 2023 werd de opkomst van gespecialiseerde AI-hardware belicht. Naast deze trend worden er steeds meer apparaten (telefoons, laptops, enz.) geproduceerd om dagelijkse AI-workflows te ondersteunen. Een andere ontwikkeling, voortkomend uit het verschil tussen AI-complexiteit en beschikbare rekenkracht, is de ontwikkeling van AI-modellen die optimaal gebruikmaken van de beschikbare computationele middelen. Met innovaties zoals modellen met



lage precisie en AI-bewuste hardware-implementaties wordt AI opnieuw vormgegeven, gedreven door de noodzaak om 'meer met minder' te bereiken op het gebied van systeemcapaciteiten.

SIGNALEN

De aankondigingen van Nvidia op CES 2025 beloven een persoonlijke supercomputer.

(nvidianews.nvidia.com) [↗](#)

Verwachte groei van de markt voor AI-chips. (gcom.pdo.aws.gartner.com) [↗](#)

Er komen meer bedrijven op de markt die zich richten op AI-hardware, bijvoorbeeld Cerebras.

- forbes.com [↗](#)
- axelera.ai [↗](#)

Veel bestaande bedrijven richten zich nu op het maken van AI-hardware.

- digitaltrends.com [↗](#)
- gartner.com [↗](#)

Er is een toename in het ontwerpen van hardwarebewuste modellen. (pytorch.org) [↗](#)

In de marketing van de meeste hardware ligt de focus steeds sterker op AI-gebaseerde oplossingen. (gartner.com) [↗](#)

De AI-revolutie zal hardwarebronnen met grote energiebehoeften vereisen. Dit maakt enterprise-infrastructuur opnieuw tot een strategische onderscheidende factor.

(deloitte.com) [↗](#)

“De verbeteringen in AI-trainingsprestaties sinds de MLPerf-benchmarks hebben de wet van Moore ruimschoots overtroffen.”

- David Kanter, uitvoerend directeur van MLCommons
(deloitte.com)

IMPACT



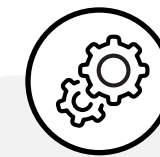
Onderwijs

- Persoonlijke AI-werkstations en meer aandacht voor betrouwbare computerarchitecturen kunnen helpen om de huidige privacyproblemen met grote technologische LLM's te verminderen en het dataverkeer over netwerken te verminderen.
- High-performance computing (HPC) voor AI biedt studenten de mogelijkheid om complexere data taken uit te voeren, maar hiervoor kan training nodig zijn.



Onderzoek

- Toegankelijke computerhardware met betere prestaties (persoonlijke supercomputers) betekent dat de onderzoeksgemeenschap over betere onderzoeksmogelijkheden zal beschikken.
- De afhankelijkheid van een handvol leveranciers voor AI-hardware brengt het risico met zich mee dat er een tekort aan AI-apparaten ontstaat als de wereldwijde toeleveringsketens onder druk komen te staan.



Operations

- Persoonlijke AI-werkstations en efficiëntere AI-modellen tegen lagere kosten betekenen dat studenten en onderzoekers minder snel behoefte hebben aan grootschalige high-performance computing (HPC)-systemen om te experimenteren met geavanceerde AI. Dit in tegenstelling tot de computerwetenschap, datawetenschap en AI-gemeenschappen, die nog steeds internationaal concurrerend onderzoek moeten uitvoeren.
- De wereldwijde vraag naar grondstoffen voor AI-specifieke chips zou de beschikbaarheid van hardware voor edge-apparaten die slimme campusautomatisering, onderzoek en onderwijs ondersteunen, kunnen beperken.

TREND #4

Samenwerking tussen mensen en AI

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Onafhankelijkheid Privacy Diversiteit
	Rechtvaardigheid	Inclusie
	Menselijkheid	Veiligheid Sociale samenhang

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Individualisering en empowerment; Belang van kennis en vaardigheden; Automatisering en AI; Connectiviteit en interactie; Digitale transformatie; Concentratie van rijkdom en economische ongelijkheid

In plaats van banen over te nemen, zoals AI vaak wordt voorgesteld, wordt AI steeds meer een partner op het werk en in ons dagelijks leven. In bepaalde opzichten neemt AI nu al routinetaken over, zodat mensen zich kunnen concentreren op complex en creatief werk.

AI wordt steeds vaker ingezet naast routinetaken, als ondersteuner bij therapie, persoonlijke zingeving en het aanpakken van levensproblemen. De opkomst van multi-agent systemen zal deze rol verder versterken.

Agentic AI, dat sinds eind jaren negentig in ontwikkeling is, belooft de interactie tussen mens en computer aanzienlijk te verbeteren door middel van natuurlijke taalinterfaces. Daarnaast ontstaan er andere interfaces in collaboratieve robots (cobots) en humanoïde robots, waardoor meer mensachtige interacties mogelijk worden.

Bovendien wordt AI als omgevingsintelligentie geïntegreerd in verschillende tools en apparaten (ambient intelligence). Denk bijvoorbeeld aan wearables met camera's en microfoons die de



omgeving van de drager kunnen analyseren en ondersteuning bieden op een vergelijkbare manier als een digitale assistent. Binnen deze ontwikkeling is er zichtbare bezorgdheid over de afhankelijkheid van LLM's van grote technologiebedrijven die de onderliggende toepassingen mogelijk maken.

SIGNALEN

Gezondheidszorg

AI-assistenten zoals PathAI helpen artsen bij het analyseren van medische beelden (pathai.com) [↗](#)

Humanoïde robots

Zullen de komende drie jaar in de VS en China in massa worden geproduceerd.

- tesla.com [↗](#)
- unitree.com [↗](#)

Rapport: De volgende grote gok van OpenAI zal geen wearable zijn (techcrunch.com) [↗](#)

Softwareontwikkeling

Tools zoals Github copilot in Character.AI zijn bedoeld om de productiviteit en kwaliteit in de levenscyclus van softwareontwikkeling te verhogen.

- github.com [↗](#)
- character.ai [↗](#)

Je volgende AI-wearable zal altijd naar alles luisteren (wired.com) [↗](#)

Project Astra | De toekomst van leren verkennen met een prototype voor AI-tutoren (youtube.com) [↗](#)

Er komt krachtigere AI aan. De academische wereld en het bedrijfsleven moeten hier samen toezicht op houden (doi.org) [↗](#)

“Zodra AI eenmaal deel uitmaakt van de achtergrond, is het niet langer optioneel. Het is onzichtbaar, maar onomkeerbaar.”

- Pieter Loman, Universiteit Utrecht

IMPACT



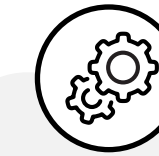
Onderwijs

- Er zijn veranderingen nodig in het curriculum om tegemoet te komen aan de nieuwe manieren van samenwerken met AI in beroepen, zonder daarbij afbreuk te doen aan publieke waarden.
- Agentic AI kan de werkdruk van docenten verminderen door beoordelingen, feedback en lesplanning te automatiseren, maar roept vragen op over de zeggenschap van studenten, vooringenomenheid in feedback en zorgen over toezicht.
- Aangezien samenwerking tussen mensen en AI op de werkplek een grote impact heeft op banen, zullen studenten aanpassingsvermogen en een andere mindset nodig hebben als cruciale vaardigheden voor de toekomst.
- Studenten en docenten worden een bron van gegevens voor grote technologiebedrijven, nu AI-tools steeds breder beschikbaar en toegankelijker worden.



Onderzoek

- Onderzoekers kunnen profiteren van AI-agenten voor het uitvoeren van repetitieve taken (bijvoorbeeld opmaak, samenvatting en literatuuronderzoek).
- Het waarborgen van reproduceerbaarheid, gegevensprivacy en auteurschapstoekenning is voor AI-agenten complexer om te behandelen.
- Door gegevensanalyse te stroomlijnen, experimenteel ontwerp te ondersteunen en laboratoriumtaken te beheren met behulp van robotica en voorspellende systemen, belooft AI meer automatisering en efficiëntie.
- Het eigendom van onderzoeksgegevens en daarmee samenhangende vragen worden blootgelegd door het gebruik van openbaar beschikbare LLM's.



Operations

- AI kan de efficiëntie en productiviteit verhogen, maar er moet voorzichtig worden omgegaan met ethische afwegingen. Belangrijk is dat het hoofddoel van onderwijs niet kostenverlaging is, maar het creëren van een zinvolle leeromgeving voor studenten en een veilige en inspirerende werkplek voor onderwijsprofessionals.
- Instellingen lopen het risico van vendor lock-in en stijgende IT-kosten vanwege hun afhankelijkheid van ingebouwde AI-tools.
- AI-gestuurde diensten kunnen de planning, studentenondersteuning en administratie optimaliseren, waardoor de operationele kosten dalen.
- Mens-AI-samenwerkingssystemen zullen worden gevoed met enorme hoeveelheden fysieke en persoonlijke gegevens, waardoor strenge privacyregels en ethische overwegingen nodig zijn om gebruikers te beschermen en verantwoord AI-gebruik te bevorderen.

TREND #5

Van grote tot kleine taalmodellen

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy Diversiteit
	Rechtvaardigheid	Transparantie Inclusie Verantwoordelijkheid
	Menselijkheid	Veiligheid Sociale samenhang

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Individualisering en empowerment; Belang van kennis en vaardigheden; Connectiviteit en interactie; Cybersecurity en vertrouwen; Concentratie van rijkdom en economische ongelijkheid; Energievoorziening en energievraag; Klimaatverandering en opwarming van de aarde

Na de revolutionaire introductie van LLM's is er een groeiende belangstelling voor small language models (SLM's). Dit zijn modellen met maximaal 10 miljard parameters, in tegenstelling tot LLM's, die honderden miljarden of zelfs triljoenen parameters kunnen hebben.

Het trainen en gebruiken van LLM's vereist enorme hoeveelheden rekenkracht. SLM's zijn daarentegen aanzienlijk kleiner. Daardoor zijn ze minder veeleisend wat betreft dataverwerking, hardware en trainingstijd. SLM's verbruiken ook minder energie, waardoor ze geschikter zijn voor toepassingen op kleinere apparaten.

SLM's zijn toegankelijker voor gebruikers die deze modellen willen trainen en uitvoeren op consumentenhardware aan de rand van een netwerk, met name voor apparaten met één doel (bijvoorbeeld sensoren). Bovendien zijn SLM's vooral nuttig voor specifieke taken en minder geschikt als algemene hulpmiddelen.



SIGNALEN

Implementatie op het apparaat

Gemini Nano op Android: bouwen met GenAI op het apparaat (io.google) [↗](#)

Qualcomm maakt het ook mogelijk om modellen zoals Meta's Llama 2 op smartphones te draaien met behulp van geoptimaliseerde, gekwantiseerde versies (qualcomm.com) [↗](#)

Gespecialiseerde hardware

Europese tech-ecosystemen richten zich op de ontwikkeling van geavanceerde AI-chips die zijn ontworpen om AI-kracht van serverkwaliteit te leveren op compacte hardware.

- axelera.ai [↗](#)
- edge-ai-tech.eu [↗](#)

Industriële integratie

Door de EU gefinancierde onderzoeksprogramma's (zoals AI-PRISM) onderzoeken de integratie van AI in de productie- en industriële sectoren om realtime analyses mogelijk te maken (aiprism.eu) [↗](#)

- AI-aangedreven mensgerichte robotinteracties voor slimme productie (cordis.europa.eu) [↗](#)
 - Sociale industriële samenwerkingsomgevingen waarin AI, big data en robotica worden geïntegreerd voor slimme productie (cordis.europa.eu) [↗](#)
-

Oproep tot milieuvriendelijkere alternatieven (nos.nl) [↗](#)

SLM's staan bekend om hun lagere energieverbruik en bieden een emissiearme optie voor instellingen die hun CO₂-voetafdruk willen minimaliseren (unesco.org) [↗](#)

Waarom zijn onderzoekers geïnteresseerd in kleine taalmodellen? (quantamagazine.org) [↗](#)

Het transformatieve potentieel van AI hangt af van energie (iea.org) [↗](#)

Toepassingen die de privacy beschermen

AIPI-proefproject gestart in vijf Nederlandse ziekenhuizen (radiobotics.com) [↗](#)

IMPACT



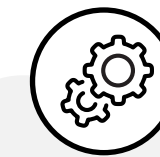
Onderwijs

- SLM's en edge AI kunnen gepersonaliseerde leerervaringen rechtstreeks op de apparaten van studenten verbeteren, waarbij privacy en toegankelijkheid worden gewaarborgd. Instellingen moeten echter infrastructuurupgrades beheren en gelijke toegang handhaven om technologische achterstanden te voorkomen. Er zullen nieuwe vaardigheden op het gebied van modelcompressie en hardware-optimalisatie nodig zijn.
- De betaalbaarheid van SLM-apparaten en ondersteunende technologie kan de digitale kloof verkleinen.



Onderzoek

- Onderzoekers kunnen profiteren van lokale, realtime analyses, zonder dat ze daarvoor uitgebreide rekenkracht nodig hebben. Dit vergemakkelijkt onderzoek in omgevingen met beperkte middelen.
- Lokale apparaten die als sensoren fungeren, zullen gegevens direct kunnen verwerken, waardoor er meer mogelijkheden ontstaan voor locatieonafhankelijk onderzoek.



Operations

- Instellingen kunnen SLM's en edge AI inzetten om de operationele efficiëntie te verbeteren, bijvoorbeeld door administratieve taken te automatiseren, terwijl ze minder afhankelijk worden van externe clouddiensten en mogelijk kosten kunnen besparen. Er zijn echter investeringen nodig in infrastructuur op apparaatniveau en in de ontwikkeling van vaardigheden om vendor lock-in te voorkomen en flexibiliteit op lange termijn te behouden.
- Instellingen moeten proactief plannen maken voor noodzakelijke infrastructuurupgrades en trainingsprogramma's om effectief gebruik te kunnen maken van de voordelen van edge AI en SLM's.

Immersive technologies

Auteurs

Mark Cole (SURF), Rufus Baas (Media College Amsterdam), Funda Yildirim (Universiteit Twente), Nick van Breda (Avans Hogeschool), Silvia Rossi (CWI), Hızirwan Salim (SURF), Paul Melis (SURF)

1. AR en slimme brillen worden steeds prominenter

2. Democratisering van het creëren van XR-content met behulp van generatieve AI

3. Verbetering van de gebruikerservaring via AI

4. Groeiende concurrentie van grote techbedrijven voor de XR-stack

5. Publieke investeringen in XR blijven toenemen



Inleiding

Immersive technologies creëren gesimuleerde ervaringen voor gebruikers waarbij de grens tussen de virtuele en fysieke wereld vervaagt. Voorbeelden van deze technologieën zijn virtual reality (VR), augmented reality (AR) en mixed reality (MR). Het omvat ook concepten zoals 360-gradenvideo, ruimtelijke audio en interfaces die haptische (op aanraking gebaseerde) feedback geven. Extended reality (XR) is voornamelijk een overkoepelende term voor VR, AR en MR, en in dit hoofdstuk worden de termen immersive technologies en extended reality door elkaar gebruikt.

Immersive technologies hebben het afgelopen decennium een grote ontwikkeling doormaakt dankzij vooruitgang op het gebied van computertechnologie en AI. Deze ontwikkeling heeft geleid tot functionaliteiten die vanuit gebruikersperspectief volwassenere vormen hebben gekregen (zoals een grotere gebruiks-

vriendelijkheid en een betere gebruikerservaring), en best practices zijn overgegaan naar toepassingen in de praktijk (zie ook SURF Tech Trends 2023 en XR Trends Update 2024). Organisaties in verschillende maatschappelijke domeinen en sectoren erkennen waar immersieve ervaringen (IX) waarde kunnen toevoegen. Momenteel ligt de focus op technologieën die zijn afgestemd op praktische uitdagingen in de praktijk en op het trainen van individuen voor scenario's uit het echte leven.

De technologische focus met betrekking tot de ontwikkeling van immersive technologies en hun XR-toepassingen verschuift. Tot voor kort lag de nadruk op hardware-innovaties die leidden tot incrementele verbeteringen op het gebied van ergonomie, styling/elegantie, miniaturisatie en weergavekwaliteit van VR/AR-headsets en slimme brillen. Verbeteringen op het gebied van comfort en uiterlijk zijn

een doorslaggevende factor geworden voor gebruikers om deze headsets en brillen (mogelijk) aan te schaffen, gevolgd door betaalbaarheid, functionaliteit en inhoud.

Momenteel ligt de focus van de technologieën op praktische uitdagingen in de echte wereld en op het opleiden van mensen voor realistische situaties. Deze fungeren als servicelagen voor instructeurs en operationeel personeel om zonder gespecialiseerde ondersteuning content te creëren of aan te passen, en kunnen ook gebruiksvriendelijke platforms ('low coding') omvatten om immersieve toepassingen te creëren. Verwacht wordt dat generatieve AI (GenAI), virtuele assistenten en andere op AI gebaseerde tools de functionaliteiten en contentmogelijkheden van immersieve toepassingen in de komende periode verder zullen verbeteren.

Het belangrijkste obstakel voor de algemene acceptatie van immersive technologies is niet de technologische capaciteit van XR-systemen, maar eerder het veranderingsmanagement binnen organisaties: professionals zoals leraren, onderzoekers, ingenieurs, service-technici, politieagenten of militairen helpen om XR te omarmen als een alledaags hulpmiddel in plaats van een curiositeit voor in het laboratorium of gaminghardware.

Bijdragers

Pablo Cesar (CWI), **Remco de Jong** (UnboundXR), **Michael Barngrover** (XR 4 Europe), **Keith Mellingen** (VRINN), **Julie Smithson** (METAVRSE & XR Women), **Bob Fine** (IVRHA), **Omar Niamut** (TNO), **Guo Fremon** (Clemson University), **Michel Caspers** (Simulatie Centrum Maritiem)

TREND #1

AR en slimme brillen worden steeds prominenter

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Inclusie Gelijkwaardigheid Transparantie
	Menselijkheid	Veiligheid Betekenisvol contact Welzijn

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Individualisering en empowerment; Automatisering en AI; Technologische vooruitgang en computation; Connectiviteit en interactie; Concentratie van rijkdom en economische ongelijkheid

AR en slimme brillen hebben de afgelopen jaren te maken gehad met acceptatiebarrières vanwege hun logge ontwerpen. Nu zijn ze lichter, comfortabeler en lijken ze op conventionele brillen. Er is een breder assortiment producten op de markt gekomen, gericht op nichemarkten en algemene markten. Grote bedrijven zoals Apple, Meta en Google kondigen aan dat ze binnenkort nieuwe producten zullen lanceren, wat erop wijst dat slimme brillen mainstream zullen worden en op grotere schaal zullen worden gebruikt. Er wordt echter niet verwacht dat slimme brillen hun volledige potentieel zullen waarmaken en over de komende 15 jaar mainstream zullen worden. Tot dan zullen AR en slimme brillen naar verwachting vooral worden ontwikkeld voor specifieke toepassingen.

Tot op heden zijn er verschillende AR-apparaten en slimme brillen op de markt gebracht. Sommige brillen bevinden zich nog in de bèta-testfase, terwijl andere op een gecontroleerde manier en in beperkte

mate worden gelanceerd, bijvoorbeeld per land. Er blijven echter belangrijke vragen bestaan over de functionele toegevoegde waarde, het uiterlijk, de bruikbaarheid en de ethische aspecten.



SIGNALEN

Verkoop

Meta Ray-Ban-brillen verkopen goed (al 2 miljoen, en de productie zal enorm toenemen tot 10 miljoen per jaar) (uploadvr.com) [↗](#)

Belofte van grote technologiebedrijven

Google pronkt met zijn AR-bril op TED en noemt deze 'de volgende computer' (youtube.com) [↗](#)

Apple werkt aan slimme brillen om Ray-Ban Meta te verslaan, aldus een nieuw rapport (forbes.com) [↗](#)

Acceptatieperspectieven

Perspectieven op de acceptatie en sociale implicaties van smart glasses (ris.utwente.nl) [↗](#)

Nieuwe productlanceringen

HTC Vive Eagle (vive.com) [↗](#)

Meta's volgende generatie slimme bril (winterlab.com) [↗](#)

Productrecensies en sneak peek-demo's (wired.com) [↗](#)

Amazon ontwikkelt AR-bril voor consumenten om te concurreren met Meta (reuters.com) [↗](#)

“AR-brillen maken naadloze assisted reality mogelijk, waardoor onderzoekers buiten een laboratorium gemakkelijk fysieke laboratoriumtaken kunnen bekijken en er in realtime aan kunnen samenwerken.”

- Remco de Jong, CEO UnboundXR

IMPACT



Onderwijs

- Een snellere overdracht van vaardigheden is te verwachten in praktijklabs, gebaseerd op bijvoorbeeld augmented instructies.
- De augmented reality-functionaliteit van de bril helpt bij het gemakkelijker vinden van de weg en het verstrekken van studenteninformatie op de campus.
- Eenvoudigere live ondertiteling van onderwijs- en opleidingsactiviteiten voor studenten en docenten met een visuele beperking of taalbarrières.
- Aandacht voor het gebruik van AR-brillen in klaslokalen, examenruimtes en gemeenschappelijke ruimtes, inclusief de verwerking van biometrische gegevens, kan een herziening van het beleid noodzakelijk maken.



Onderzoek

- Apparaten ondersteunen door middel van augmented reality en vormen van gebruikersinteractie, verbeterde samenwerking op afstand met collega-onderzoekers, zoals leden van een labteam.
- Gemakkelijkere toegankelijkheid van vastgelegde (live) gegevens via slimme brillen.
- Interactie met onderzoeksinformatie en communicatie met betrekking tot open science.



Operations

- Slimme brillen in combinatie met augmented reality en digitale overlays ondersteunen de installatie, bediening en het onderhoud van apparatuur.
- De augmented reality-functionaliteit van de bril helpt bezoekers om gemakkelijker hun weg te vinden op de campus.

TREND #2

Democratisering van het creëren van XR-content met behulp van generatieve AI

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid Keuzevrijheid
	Rechtvaardigheid	Inclusie Transparantie
	Menselijkheid	Persoonlijke ontwikkeling

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Bestuurders

Individualisering en empowerment; Belang van kennis en vaardigheden; Automatisering en AI; Energievoorziening en -vraag

Onlangs zijn GenAI en andere op AI gebaseerde tools op de markt gekomen om de creatie van XR-content, voornamelijk VR, te ondersteunen. Deze ontwikkeling geeft een nieuwe vorm aan en democratiseert de creatie van content, door de technische barrières en kosten te verlagen en een snellere ontwikkeling en implementatie mogelijk te maken.

De tools stellen actoren, zoals onafhankelijke makers, bedrijven, docenten en onderzoekers, in staat om ideeën te prototypen en 3D-geconstrueerde objecten en virtuele werelden sneller, efficiënter en op grotere schaal te produceren, zonder dat ze over uitgebreide technische vaardigheden hoeven te beschikken.

Met andere woorden, AI maakt low-code tot no-code XR-creaties mogelijk voor iedereen in de gemeenschap. De acceptatie verloopt geleidelijk en is afhankelijk van het gebruik. Er doen zich uitdagingen voor op het gebied



van auteursrecht, eigendom van content, ontwikkeling van vaardigheden op het gebied van creatief ontwerp en contentcreatie, en buitensporig energieverbruik.

SIGNALEN

Platformintegratie

Grote XR-platforms integreren generatieve AI rechtstreeks in hun tools, waardoor de toegangsdrempels worden verlaagd:

Adobe Project Scenic bouwt en bewerkt volledige 3D-scènes op basis van eenvoudige aanwijzingen en integreert deze naadloos in creatieve workflows (theverge.com) [↗](#)

Unity 6 bevat generatieve AI-functies voor slimme NPC's, realtime spraaksynthese en het genereren van objecten (non-person characters; computerpersonages) (unity.com) [↗](#)

Meta Horizon Worlds maakt het nu mogelijk om volledige VR-omgevingen te genereren via AI-prompts, waardoor de drempel voor het bouwen van sociale XR-werelden wordt verlaagd (developers.meta.com) [↗](#)

Snellere creatie van 3D-objecten met AI

Generatieve AI-tools verminderen de tijd en moeite die nodig is voor het maken van 3D-objecten aanzienlijk:

AI-modelleringshulpmiddelen kunnen de tijd die nodig is voor het maken van 3D-objecten met wel 70% verminderen voor complexe scènes (alpha3d.io) [↗](#)

Meta 3D AssetGen genereert in minder dan 30 seconden hoogwaardige meshes met realistische texturen en materialen (assetgen.github.io) [↗](#)

“In het verleden konden gebruikers zonder technische vaardigheden zelf geen 3D-creaties maken. Nu hebben ze plotseling eenvoudig te gebruiken AI-gebaseerde tools die hen helpen om iets te doen zonder enige ervaring met 3D-modellering.” - Keith Mellingen, VRINN

IMPACT



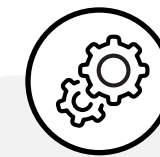
Onderwijs

- De convergentietrend tussen AI en XR maakt het mogelijk om sneller op maat gemaakte XR-leeromgevingen te creëren zodra XR-platforms en -toepassingen voor het onderwijs voldoen aan de eisen op het gebied van visuele nauwkeurigheid.
- Ondanks de low-code en no-code hebben docenten mogelijk nog steeds hulp en ondersteuning nodig van experts en ervaren professionals om studenten te begeleiden.



Onderzoek

De democratisering van AI-gebaseerde XR-content kan bijdragen aan snelle prototyping van experimentele XR-opstellingen en toegang tot grafische en 3D-gemodelleerde objecten voor onderzoek.



Operations

- Lagere productiekosten voor simulaties vereisen een hoge mate van functionele validatie (bijvoorbeeld veiligheidskritische simulaties).
- Er ontstaan platforms die het creëren en implementeren van XR vergemakkelijken.



TREND #3

Verbetering van de gebruikerservaring via AI

Publieke waarden

 Autonomie Keuzevrijheid | Diversiteit

 Rechtvaardigheid Inclusie

 Menselijkheid Veiligheid | Welzijn |
Persoonlijke ontwikkeling

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Individualisering en empowerment; Dynamiek binnen gemeenschappen en maatschappelijke samenhang; Automatisering en AI; Connectiviteit en interactie

AI verbetert de gebruikerservaring in realtime door het realisme, de context-bewuste interactiviteit en de personalisatie te vergroten. Voorspellende modellen, sensorische input (oogvolging, spraakherkenning) en continue gegevensanalyse stellen XR-systemen in staat om de blik, gebaren, emoties en ruimtelijke omgeving van mensen in realtime te interpreteren. Tegelijkertijd past dit de immersieve ervaring automatisch aan de gebruiker aan, zonder dat daar een handeling voor nodig is.

Virtuele assistenten verbeteren de betrokkenheid, terwijl andere op AI gebaseerde engines de grafische prestaties optimaliseren en zorgen voor dynamische content en visuele nauwkeurigheid. Opkomende technologieën zoals brain-computer interfaces (BCI's) en neurotechnologie kunnen de fysieke inspanningen bij het gebruik van XR minimaliseren. Deze convergentie van AI en XR zal leiden tot AI-verbeterde XR die anticipeert op de behoeften en het gedrag van gebruikers.



SIGNALEN

Altijd beschikbare, adaptieve AI-agenten

Het (Ai)Daptive XR-platform stelt studenten en docenten in staat om volledig immersieve ervaringen te beleven (qualcomm.com) [↗](#)

Convergentie van digitale identiteit

Immersieve technologie, blockchain en AI komen samen (weforum.org) [↗](#)

AI als verhalenverteller en gids in keuzes

Verbetering van de gebruikerservaring in VR-omgevingen door middel van AI-gestuurd adaptief UI-ontwerp (researchgate.net) [↗](#)

Naadloze multimodale ervaring

Gebruikersvolgsysteem en haptische feedback zorgen voor een realistischere XR-interactie (xrtoday.com) [↗](#)

Opkomende hersen-computerinterfaces maken handsfree bediening mogelijk door neurale signalen rechtstreeks om te zetten in commando's (medium.com) [↗](#)

Meta-review over Brain-Computer Interface (BCI) in de metaverse (doi.org) [↗](#)

Gameplay met nog minder vertraging dankzij frame warp (nvidia.com) [↗](#)

Meta Quest 4 en Quest 4S (androidcentral.com) [↗](#)

Genie 3: Dynamische werelden creëren waarin je in realtime kunt navigeren.

(youtube.com) [↗](#)

“Stemherkenning, eye tracking – het gaat erom de interactie-inspanning te verminderen voor een betere gebruikerservaring. Uiteindelijk zouden we met brain-computer interfaces allemaal XR-ontwikkelaars kunnen worden!”

- Omar Niamut, TNO

IMPACT



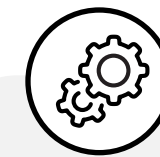
Onderwijs

- Interactieve AI-tutores kunnen de werkdruk van docenten verminderen en grotere groepen studenten bereiken.
- AI-gestuurde interactiviteit (waaronder bijvoorbeeld gamificatie) kan de betrokkenheid van studenten op lange termijn vergroten, vooral bij jongere leerlingen.
- Gesprekgestuurde AI-agents en gepersonaliseerde feedbacksystemen helpen studenten bij hun studie, ook wanneer docenten niet beschikbaar zijn.



Onderzoek

- Contextbewuste virtuele assistenten versnellen het beoordelen van wetenschappelijke literatuur en het configureren van experimenten.
- Onderzoekers kunnen profiteren van intelligente systemen met AI-XR-functionaliteiten die experimentele trajecten aanpassen, real-time suggesties doen en betrokkenheidsmetingen bijhouden van cognitieve en emotionele reacties.



Operations

AI-chatbots worden al gebruikt om routinematige vragen van werknemers/professionals te beantwoorden (bijvoorbeeld vragen over IT of human resources), waardoor medewerkers tijd krijgen voor complexere zaken. Dit zou kunnen uitgroeien tot 3D-assistenten in virtuele of augmented werkomgevingen.



TREND #4

Groeiende concurrentie van grote techbedrijven voor de XR-stack

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Onafhankelijkheid Diversiteit
	Rechtvaardigheid	Gelijkwaardigheid Inclusie
	Menselijkheid	Welzijn Sociale samenhang

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Globalisering; Concentratie van rijkdom en economische ongelijkheid; Ideologische polarisatie

De XR-stack is de verzameling technologieën, componenten, platforms en applicaties die nodig is om XR/immersieve ervaringen te bieden. Een belangrijke ontwikkeling is de concurrentie tussen grote technologiebedrijven (Apple, Meta, Microsoft en Google) – een patroon dat zich steeds herhaalt – om complete en toonaangevende XR-stacks met bijbehorende ecosystemen te creëren.

Controle over hardware voor VR-/AR-headsets, besturingssystemen, (AI-gebaseerde) XR-engines, middleware en de acceptatie van virtuele assistenten is essentieel om een concurrentievoordeel te behalen op de XR-markt.

Grote technologiebedrijven boeken aanzienlijke vooruitgang op het gebied van hun controle over de XR-stack, terwijl ze hun portfolio's van technologieën, producten, diensten en partnerschappen onder de loep nemen. Daarentegen nemen dezelfde grote technologiebedrijven ook deel aan standaardisatieorganisaties en open XR-initiatieven.



SIGNALEN

Meta opent haar Horizon OS voor andere fabrikanten, en AndroidXR is aangekondigd in samenwerking met grote partners.

Maak kennis met ons open mixed reality-ecosysteem (over.fb.com) [↗](#)

Meer informatie over Android XR (android.com) [↗](#)

Strategische overnames

Eerst smartphones, nu neemt Google nog een divisie van HTC over en verkrijgt het ook een niet-exclusieve licentie voor het gebruik van HTC's XR-intellectuele eigendom. (androidauthority.com) [↗](#)

De meeste fabrikanten hebben aangekondigd om het besturingssysteem en platform van Meta of Google te gebruiken.

AndroidXR - Samsung, Lynx, Qualcomm, Xreal, Sony: Android XR: een nieuw platform ontwikkeld voor headsets en brillen (blog.google) [↗](#)

Meta Horizon OS - Microsoft, Lenovo, Asus Android XR: een nieuw platform ontwikkeld voor headsets en brillen (blog.google) [↗](#)

Google demonstreert Android XR-bril op Google I/O 2025 met Gemini-integratie (youtube.com) [↗](#)

“De meest vooruitstrevende makers maken snel gebruik van AI-tools. Ze zijn niet bang, maar gebruiken ze om de grenzen van wat mogelijk is op het gebied van immersieve creaties te verleggen.”

- Julie Smithson, METAVRSE & XR Women

IMPACT



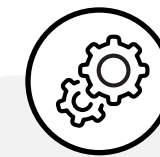
Onderwijs

De concurrentie tussen XR-platforms zal van invloed zijn op de mate van privacy en gegevenscontrole binnen XR-platforms en -toepassingen voor educatieve doeleinden. Platform-lock-in bepaalt de portabiliteit en interoperabiliteit van (kostbare) content op de lange termijn, en daarom is een zorgvuldige aanschaf nodig.



Onderzoek

De toegang tot lagere softwarelagen binnen XR-gerelateerde platforms en applicaties voor bepaalde onderzoeksactiviteiten zal waarschijnlijk worden beperkt binnen gesloten stacksystemen. Dit is met name relevant voor consumentenproducten die tegen consumentenprijzen op de markt verkrijgbaar zijn.



Operations

De strategische keuze voor een XR-ecosysteem zal een aanzienlijke invloed hebben op de afhankelijkheid van leveranciers op gebieden zoals interoperabiliteit, privacy en controle, en doorlopende onderhoudskosten.



TREND #5

Publieke investeringen in XR blijven toenemen

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Diversiteit Onafhankelijkheid Privacy
	Rechtvaardigheid	Inclusie Transparantie Gelijkwaardigheid
	Menselijkheid	Veiligheid Welzijn

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Belang van kennis en vaardigheden; Wereldhandel en handelsheffingen; Digitale transformatie; Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit; Regelgeving en naleving (compliance); Kritieke infrastructuur

Naast de grote investeringen van grote technologiebedrijven en andere bedrijven in (segmenten van) de XR-stack, beginnen ook overheden het potentieel van XR op het gebied van innovatie, productiviteit en economische groei te erkennen.

Daarom nemen de overheidsinvesteringen in XR in verschillende domeinen en sectoren zowel nationaal als internationaal toe, met een verschuiving naar de financiering van meer praktische toepassingen en gebruiksscenario's. Voorbeelden hiervan zijn de gezondheidszorg (chirurgische training en geestelijke gezondheidszorg), defensie (gevechtstraining, dronebeheer en -operaties), stedelijke planning en onderwijsprogramma's (professionals getraind met simulators).

In Nederland wijst de oprichting van grote publiek-private onderzoeks- en innovatieprogramma's op aanzienlijke nationale overheidsinvesteringen, naast verschillende Horizon Europe-subsidierondes die zich richten op virtuele werelden.



SIGNALEN

Horizon Europe-projecten

XR-projecten gefinancierd in het kader van H2020 en Horizon Europe (ec.europa.eu) [↗](#)

Varjo stelt een verschuiving naar praktische toepassingen voor (varjo.com) [↗](#)

“De gezondheidszorg is een groot domein waarin de investeringen naar verwachting zullen toenemen. Er gaat veel financiering naar VR-trainingen en -toepassingen binnen de gezondheidszorg” - Michael Barngrover, XR4Europe

Nationale investeringen in onderwijs en opleiding in Nederland

- npuls.nl [↗](#)
- ciiic.nl [↗](#)
- [nederlandse technologie](https://nederlandse-technologie.nl) [↗](#)
- rif-smart.nl [↗](#)
- oasis.nl [↗](#)

Verdediging

Vijf Amerikaanse marineschepen krijgen AR-technologie voor reparaties op afstand (thedefensepost.com) [↗](#)

Europees Defensiefonds (eufundingoverzicht.be) [↗](#)

IMPACT



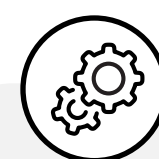
Onderwijs

Stijgende publieke investeringen in XR versnellen de adoptie in het onderwijs, waardoor meer instellingen toegang krijgen tot virtuele omgevingen van hoge kwaliteit, zoals simulators en trainingsapplicaties.



Onderzoek

Publieke financiering gericht op XR zou de prioriteiten kunnen verleggen naar toegepaste onderzoeken die meetbare kwaliteitsverbeteringen valideren bij het gebruik van virtuele omgevingen voor training en simulaties (zoals minder ongevallen en hogere slagingspercentages).



Operations

Beter georganiseerde onderzoeks- en innovatieconsortia die toegang hebben tot specifieke publieke financieringsbronnen voor XR, maken een snellere acceptatie en gedeeld gebruik van XR-infrastructuren mogelijk.

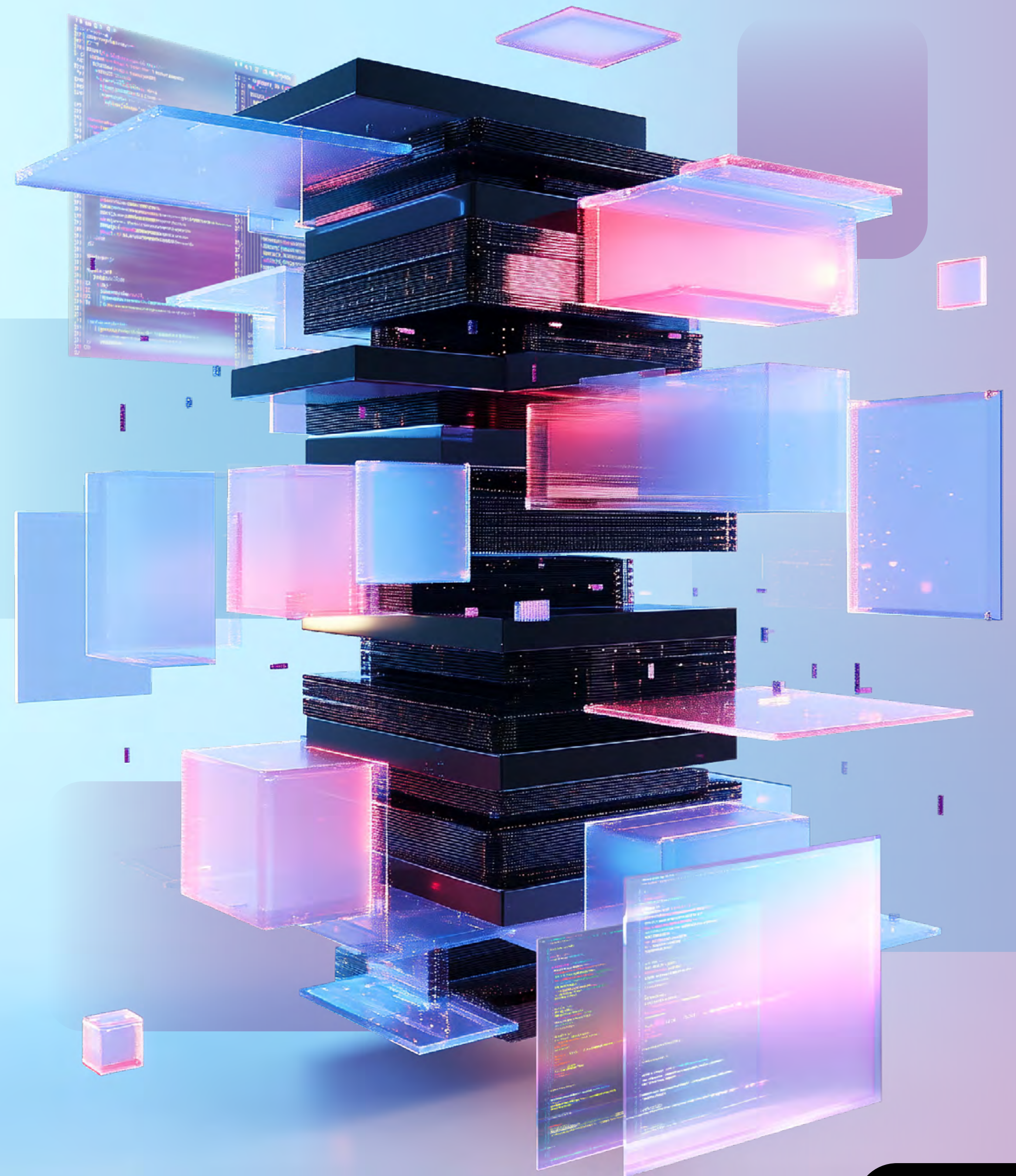


Data-management

Auteurs

Mark van de Sanden (GÉANT, voorheen SURF), Jan-Ru Muller (Hogeschool van Amsterdam), René van Horik (DANS), Lolke Boonstra (TU Delft)

1. Toenemende toepassing van FAIR-principes ter versterking van digitale ecosystemen in Europa
2. Standaardisatie van data space-architecturen voor veilig en vertrouwd datadelen
3. Steeds belangrijker worden van TRUST-principes voor dataopslag en -beveiliging
4. Het toenemende belang van augmented datamanagement
5. Opkomst van DNA-gebaseerde gegevensopslag om gegevens zeer lang te bewaren



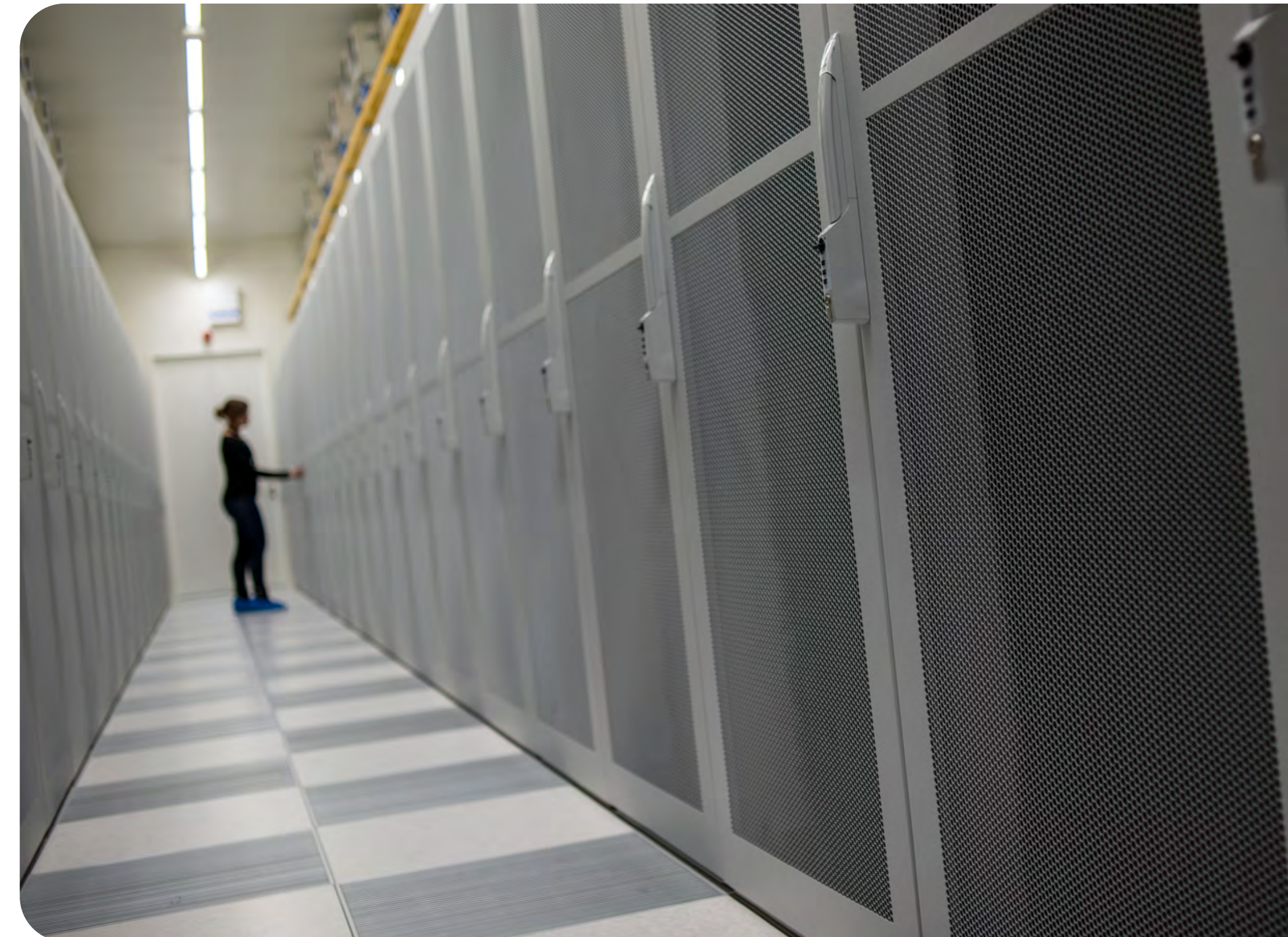
Inleiding

De groei van data is tegenwoordig enorm, en deze groei is afkomstig van een groot aantal bronnen, zoals industriële IoT-apparaten (internet of things), medische beeldvormings-systemen, synthetische datageneratoren voor AI-modeltraining en grote wetenschappelijke instrumenten zoals de Large Hadron Collider (deeltjesfysica) van CERN en het Vera C. Rubin Observatory (in de astronomie). Huidige wetenschappelijke experimenten kunnen al dagelijks tientallen terabytes aan data genereren, terwijl toekomstige experimenten deze schaal zullen opvoeren tot honderden terabytes per dag.

Hoewel de huidige data-explosie niets nieuws is, brengt het managen van deze toenemende datavolumes met de huidige technologieën uitdagingen met zich mee die nieuwe benaderingen en technologieën vereisen. Zo bereiken opslagmedia zoals tapes en harde schijven hun fysieke grenzen wat betreft datadichtheid.

Tegelijkertijd neemt de verscheidenheid aan datasets toe door de verschillende soorten gegevens. Innovatieve benaderingen en technologieën zijn nodig, niet alleen voor het goed managen van enorme hoeveelheden gegevens, maar ook om gegevens uit verschillende domeinen, zoals wetenschappelijke disciplines, industrieën en maatschappelijke domeinen, te combineren. Dit geeft de mogelijkheid om belangrijke inzichten te verkrijgen uit gecombineerde datasets.

Naast de hoeveelheid gegevens vormt ook de complexiteit ervan een uitdaging. Bijvoorbeeld wat betreft de verschillende rollen van organisaties – zoals onderzoeksorganisaties – bij de verwerking van grote datasets. Niet alleen als producent van gegevens, niet alleen als gebruiker van gegevens, maar ook als actor die grote datasets combineert, verrijkt, mede creëert en aggregeert voor en met een verscheidenheid aan andere actoren.



Principes en tools voor gegevensbeheer helpen om de waarde van gegevens te ontsluiten. Gegevensbeheer omvat het systematische proces van het omgaan met gegevens gedurende hun hele levenscyclus: het verzamelen, organiseren, analyseren, delen en bewaren van gegevens, waarbij de integriteit, toegankelijkheid en veiligheid ervan worden gewaarborgd. AI is op dit gebied al veelbelovend gebleken, waar AI-gestuurde automatisering handmatige inspanningen tot een minimum kan beperken. Naast de huidige standaardoplossingen voor gegevensopslag groeit de vraag naar data- en contentbewuste oplossingen voor datamanagement, evenals naar oplossingen die nieuwe inzichten uit data kunnen bieden.

Onlangs werd duidelijk hoe belangrijk gegevensbeheer en gegevensbewaring zijn. Kijkend naar ontwikkelingen op het gebied

van gegevenssoevereiniteit, gegevenseigendom en -beveiliging, en open science. Deze ontwikkelingen zijn bepalend voor de manier waarop onderzoekers en onderzoeksorganisaties internationaal samenwerken. Een voorbeeld hiervan is de recente activiteit van de onderzoeksgemeenschap om grote klimaatgegevenssets die in de VS zijn opgeslagen te bewaren door ze op servers in de EU op te slaan, zodat de gegevens vrij beschikbaar blijven voor de internationale klimaatonderzoeksgemeenschap. Naast deze repatriëring van gegevens in de wetenschappelijke gemeenschap zijn ook nationale overheden en organisaties in de EU zich bewust van het nemen van strengere maatregelen om het eigendom van gegevens te waarborgen. Bijvoorbeeld met betrekking tot het gebruik van cloudservices, door data van de (big tech-)servers in de VS naar servers in Europa te verplaatsen.

Nieuwe benaderingen en technologieën voor datamanagement zijn in opkomst en worden ontworpen om zowel de huidige als toekomstige data-uitdagingen te kunnen hanteren.”

Bijdragers

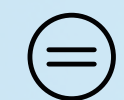
Tom de Greef (TU Eindhoven), **Hans Tonissen** (Haskoning), **Sara Veldhoen** (Beeld en Geluid), **Rana Klein** (Beeld en Geluid), **Damiaan Zwietering** (IBM), **Laila Fettah** (IBM), **Matthijs Punter** (TNO), **Niels Bolding** (Health-RI), **Lucas van der Meer** (ODISSEI), **Marie Buesink** (KB nationale bibliotheek), **Paolo Manghi** (OpenAIRE)

TREND #1

Toenemende toepassing van FAIR-principes ter versterking van digitale ecosystemen in Europa

Publieke waarden

Autonomie



Rechtvaardigheid

Integriteit | Transparantie |
Duurzaamheid

Menselijkheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

BestuurdersDynamiek binnen gemeenschappen en maatschappelijke
samenhang; Globalisering; Digitale transformatie

De FAIR-principes zijn richtlijnen voor datasets die vindbaar, toegankelijk, interoperabel en herbruikbaar zijn. Een toenemende toepassing van FAIR-principes kan leiden tot digitale ecosystemen, een web van FAIR-data en -diensten, waar digitale bronnen niet alleen worden gedeeld, maar ook semantisch worden gekoppeld, automatisch worden geïnterpreteerd en betrouwbaar worden hergebruikt in verschillende domeinen.

Naast data is een belangrijke ontwikkeling de toepassing van FAIR-principes op alle onderzoeksresultaten, inclusief ondersteunende kaders zoals software, workflows voor berekeningen en wetenschappelijke modellen. Deze convergentie wordt mogelijk gemaakt door FAIR Digital Objects (FDO's), die permanente identificatiecodes en rijke metadata omvatten, naast Knowledge Graphs (KG's) die de semantische relaties tussen deze FDO's structureren. De verschuiving naar het toepassen van FAIR op meer dan alleen 'data', namelijk ook op digitale



onderzoeksubjecten, maakt automatisering, reproduceerbaarheid en het vinden van informatie mogelijk, terwijl het ook innovatie op grotere schaal tussen verschillende domeinen bevordert.

SIGNALEN

Initiatieven & organisaties

GO FAIR-initiatief (go-fair.org) 

EOSC (European Open Science Cloud) (eosc.eu) 

FDO Forum (fairdo.org) 

OpenAIRE (ontdek.openaire.eu) 

“Het web van FAIR-data en -diensten is een hoeksteen voor de toekomst van digitale ecosystemen.” - Paolo Manghi, OpenAIRE, CTO

Implementaties

Aridhia FAIR Data Services - biedt onderzoekers tools voor het ontdekken en classificeren van datasets en het doorbladeren van metadata (aridhia.com) 

Fairdata.fi - biedt diensten voor gegevensopslag en -ontdekking ter ondersteuning van FAIR-principes en om langdurige bewaring te garanderen (fairdata.fi) 

FAIRsharing.org - biedt een samengestelde, informatieve bron over gegevens- en metagegevensstandaarden, die verband houden met databases en gegevensbeleid (fairsharing.org) 

Open Research Knowledge Graph (ORKG) - wetenschappelijke communicatie die gebruikmaakt van de mogelijkheden van digitalisering (orkg.org) 

Zenodo (zenodo.org) 

FAIRimpact-project (fair-impact.eu) 

Ondersteunende literatuur

Op weg naar het Open Science-model: publiceer uw ruwe diffractiegegevens (pubs.aip.org) 

Analyse van open data als basis voor data-gedreven onderzoek (link.springer.com) 

Leidse Verklaring over FAIR Digital Objects (fdo2022.org) 

IMPACT



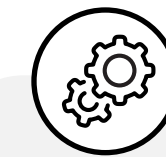
Onderwijs

- Knowledge Graphs (KG's) worden geïntegreerd in leeromgevingen (learning management systems; LMS'en) zoals Brightspace en Canvas om relaties tussen leerdoelen, lesmateriaal en competenties te modelleren.
- Door verbanden te leggen tussen leerlingprofielen, leerprogressie en cursusvereisten, maken KG's gepersonaliseerd leren mogelijk via adaptieve leertrajecten.



Onderzoek

- Het netwerk van FAIR-data en -diensten heeft een aanzienlijke invloed op onderzoek door wetenschappelijke ontdekkingen te versnellen en herbruikbaarheid van data te bevorderen.
- FAIR Digital Objects (FDO's), verrijkt met gedetailleerde metadata en versiebeheer, verbeteren de reproduceerbaarheid, traceerbaarheid en herbruikbaarheid van onderzoeksdata, software en workflows.



Operations

- Knowledge Graphs (KG's) kunnen operationele systemen verbeteren door gegevens uit leeromgevingen (LMS'en) en studenteninformatiesystemen (SIS'en) aan elkaar te koppelen.
- Door de integratie van KG's kunnen instellingen het traject van studenten in kaart brengen, van voor de toelating tot het afstuderen en de daaropvolgende betrokkenheid van alumni.



TREND #2

Standaardisatie van data space-architecturen voor veilig en vertrouwd datadelen

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Transparantie Integriteit Verantwoordelijkheid Gelijkwaardigheid
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

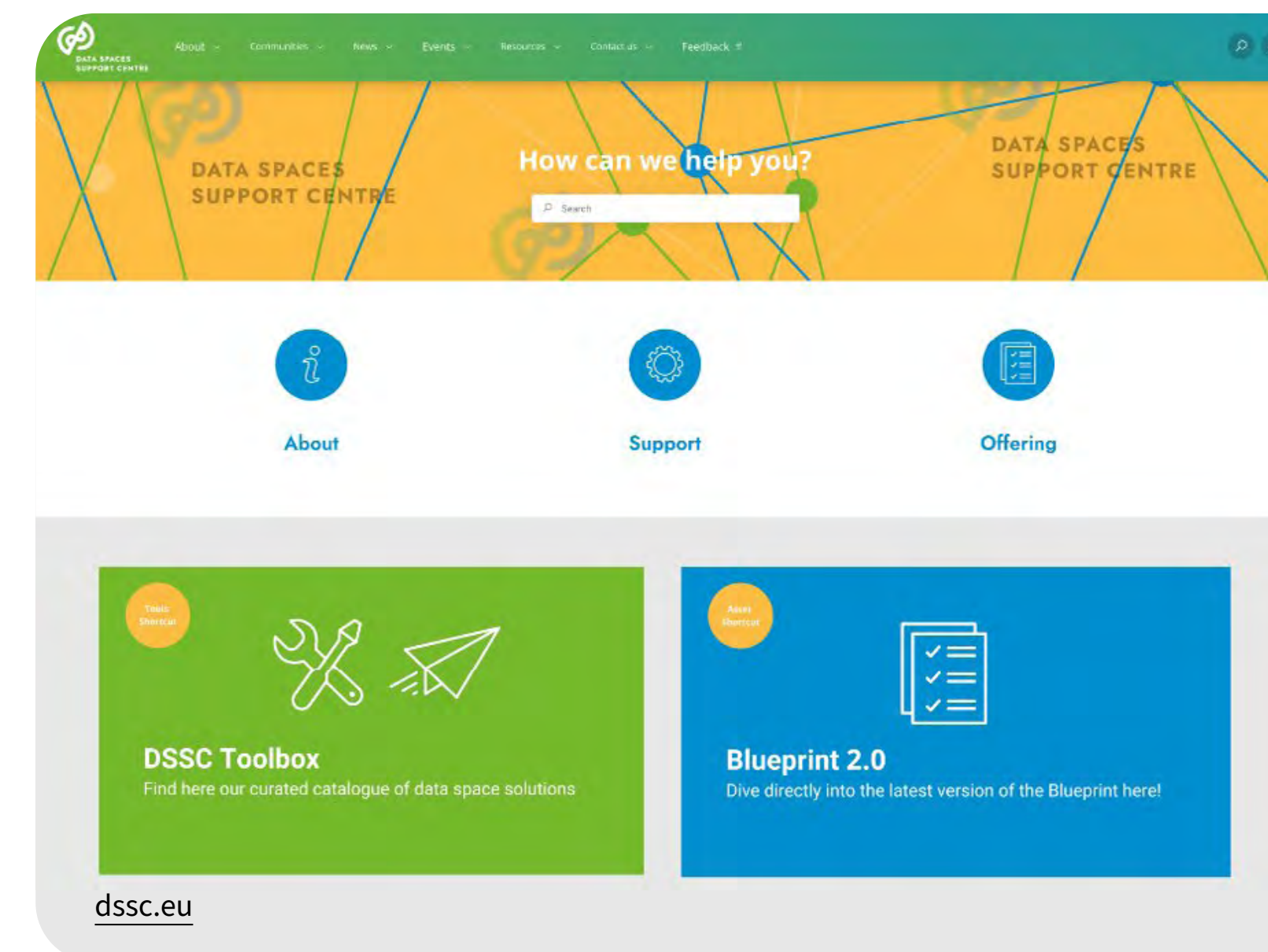
Drivers

Regelgeving en naleving (compliance); Cybersecurity en vertrouwen; Belang van kennis en vaardigheden

Data spaces stellen deelnemers in staat om data assets te delen, te verhandelen en samen te werken op een manier die voldoet aan de behoeften van de deelnemers en regelgeving. Deze data spaces kunnen het enorme potentieel van datagestuurde innovatie ontsluiten. Grootschalige data-uitwisseling wordt echter belemmerd door bezorgdheid over vertrouwen en het gebrek aan controlemechanismen voor het delen van veilige en betrouwbare gegevens. Daarom is er veel aandacht voor de standaardisatie van data space-architecturen die veilige en betrouwbare uitwisselingen beter ondersteunen. Er is een groeiende behoefte aan goed georganiseerde en gestandaardiseerde data spaces. Tegen de achtergrond van de geopolitieke ontwikkelingen werkt de Europese Commissie intensief aan het bevorderen van gemeenschappelijke Europese data spaces.

Daarnaast verschilt de volwassenheid van de standaarden voor data space-architecturen

per domein. De aanwezigheid van goed uitgewerkte metadatastandaarden binnen een domein versterkt ook de volwassenheid van de data space-architecturen. Daarbij kan opgemerkt worden dat ook de juridische kaders per domein uiteen kunnen lopen.



SIGNALEN

Realisatie van data spaces op Europees en nationaal niveau

De Europese Commissie ondersteunt krachtig de ontwikkeling van de gemeenschappelijke Europese dataspaces (digitale-strategie.ec.europa.eu) [↗](#)

Toekomstige mobiliteit (marketplace.future-mobility-alliance.org) [↗](#)

Gemeenschappelijk kader van de European Health Data Space (EHDS) voor het gebruik en de uitwisseling van elektronische gezondheidsgegevens in de hele EU (european-health-data-space.com) [↗](#)

“In de vroege fase van elektriciteit werd alles uitgevonden; je wist toen nog niet wat ermee mogelijk was. Nu alles gestandaardiseerd is, gaat het slechts om waar een stekker kan worden aangesloten. Dit geldt tegenwoordig ook voor de standaardisatie van architecturen voor data spaces.” – Matthijs Punter, TNO, Ondersteuningscentrum voor Data spaces

Rapporten

Update van de Europese Commissie over de status van de gemeenschappelijke Europese data spaces (digital-strategy.ec.europa.eu) [↗](#)

Kritieke succesfactoren voor de implementatie van Data Space (tno.nl) [↗](#)

Uitdagingen van de transitie naar schone energie en het behalen van de ambitieuze doelstellingen van de Europese Green Deal (energie.ec.europa.eu) [↗](#)

Referentiearchitecturen worden ontwikkeld ter ondersteuning van data spaces

Data Space Support Centre publiceert versie 2 van het Data Spaces Blueprint (dssc.eu) [↗](#)

Ontwerp functionele en technische specificaties Simpl-architectuur gepubliceerd (simpl-programma.ec.europa.eu) [↗](#)

Npuls gebruikt de HOSA-domeinarchitectuur voor onderwijs en flexibiliteit als hoeksteen (surf.nl) [↗](#)



[Project](#) [Public consultations](#) [Latest](#) [Events](#) [Get involved](#)

Second Joint Action Towards the European Health Data Space – TEHDAS2

The TEHDAS2 joint action prepares the ground for the harmonised implementation of the secondary use of health data in the European Health Data Space – EHDS.

tehdas.eu

IMPACT



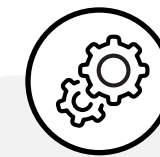
Onderwijs

Data spaces op basis van geavanceerde blauwdrukken maken veilige, EU-conforme gegevensuitwisseling tussen onderwijsinstellingen mogelijk. Ze ondersteunen AI-gestuurd leren, waarborgen gegevenssoevereiniteit en verminderen de afhankelijkheid van niet-Europese platforms.



Onderzoek

Data spaces die zijn georganiseerd volgens de nieuwste blauwdrukken maken veilige, snellere toegang tot gegevens mogelijk en vergemakkelijken grensoverschrijdende datauitwisseling. Ze verbeteren de wetenschappelijke samenwerking, versnellen de reproduceerbaarheid van onderzoek en stimuleren innovatie, rekening houdend met ethische en wettelijke kaders wat betreft het gebruik van data.



Operations

Door veilige gegevensuitwisseling tussen leden van een data space mogelijk te maken, kunnen operationele processen worden gestroomlijnd. De standaardisatie van architecturen bevordert flexibiliteit en transparantie wat betreft de inzet van data spaces. Ook draagt het bij aan een betere aansluiting op nationale en Europese regelgeving en digitaliseringsagenda's.



TREND #3

Steeds belangrijker worden van TRUST-principes voor data-opslag en -beveiliging

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Transparantie Duurzaamheid Verantwoordelijkheid Integriteit
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Belang van kennis en vaardigheden; Dynamiek binnen gemeenschappen en maatschappelijke samenhang; Cybersecurity en vertrouwen; Dienstgerichte en waardegedreven economieën; Regelgeving en naleving (compliance)

Databanken (data repositories) vormen een essentieel onderdeel van digitale ecosystemen en maken langdurige toegang tot data mogelijk. Daarom winnen de TRUST-principes (transparency, responsibility, user focus, sustainability en technology) de laatste tijd aan belang. Deze principes zorgen ervoor dat databanken transparant zijn in hun werking, verantwoord en betrouwbaar omgaan met gegevens, gebruikersgerichte benaderingen hanteren, duurzaam omgaan met middelen en technologie inzetten voor datamanagement.

De TRUST-principes vormen een aanvulling op de FAIR-principes en zorgen ervoor dat de data-infrastructuur betrouwbaarder en duurzaam inzetbaar is. In essentie gaat FAIR over de data, terwijl TRUST gaat over de repository die de data beheert en bewaart. Deze combinatie zorgt er dus voor dat onderzoeksdata een betrouwbare, toegankelijke en waardevolle bron voor de wetenschap en de samenleving blijven, zowel nu als in de toekomst.



SIGNALEN

Transparantie

Open source-infrastructuur en open governance modellen

Open Science NL stimuleert de overgang naar open science in Nederland, met de nadruk op het beheer/managen van onderzoeksdata (nwo.nl) [↗](#)

Open science staat centraal in het Europese onderzoeksbeleid, waarbij de nadruk ligt op onmiddellijke, onbeperkte toegang tot onderzoeksresultaten in gedeelde data repositories (research-and-innovation.ec.europa.eu) [↗](#)

Verantwoordelijkheid

Controles op naleving van verantwoordingsplicht

De nalevingsbeoordeling van de TRUST-principes is ontwikkeld door initiatieven die verband houden met EOSC (faircore4eosc.eu) [↗](#)

Robuuste strategieën voor digitale bewaring van data en een netwerk van betrouwbare opslagplaatsen garanderen de authenticiteit, integriteit en betrouwbaarheid van gegevens (EDEN- en FIDELIS-projecten) (eden-fidelis.eu) [↗](#)

Gebruikersgerichtheid

Fijnmazige gegevenscontrole en toestemmingsbeheer (vanwege toenemende vraag vanuit de gebruikersgemeenschap)

ODISSEI faciliteert als veilige omgeving binnen de Nederlandse infrastructuur voor sociaalwetenschappelijk onderzoek toegang tot, het delen van en het verwerken van gevoelige data (odissei-data.nl) [↗](#)

Het SIESTA-project ontwikkelt EU-brede tools en methodologieën voor datadelen om onderzoekers toegang te bieden tot vertrouwelijke informatie, terwijl privacy en bruikbaarheid gewaarborgd blijven (eosc.eu) [↗](#)

Duurzaamheid

Verantwoord omgaan met human capital en natuurlijke hulpbronnen, bijvoorbeeld door het energieverbruik te verminderen (door gebruik te maken van 'groene' datacenters).

Het "Green IT maturity model" helpt organisaties hun verantwoordelijkheid op het vlak van de milieu-impact van IT te beoordelen en intenties om te zetten in uitvoerbare praktijken (surf.nl) [↗](#)

Digitale technologie is verantwoordelijk voor 5-9% van het wereldwijde elektriciteitsverbruik, waardoor energie-efficiëntie van cruciaal belang is. Het groene cloudinitiatief van de EU heeft tot doel energie-efficiënte cloud computing te bevorderen (digital-strategy.ec.europa.eu) [↗](#)

Technologie

Semantische webstandaarden en API's verbeteren de interoperabiliteit door een gemeenschappelijke taal en kader voor gegevensuitwisseling te bieden, waardoor systemen effectiever met elkaar kunnen communiceren

Onderzoekers, publicaties, gegevens, financiers enz. worden via semantische webtechnologieën met elkaar verbonden om een 'Global Open Science Graph' (grafiek.openaire.eu) te vormen. [↗](#)

IMPACT



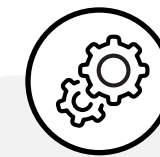
Onderwijs

De TRUST-principes stellen data repositories in staat om de onderwijssector beter te ondersteunen bij het effectiever beheren van data. Ze bevorderen samenwerking en gedeeld leren door betere data-uitwisseling en -hergebruik.



Onderzoek

Onderzoekers kunnen onderzoeksgegevens effectiever (her)gebruiken en delen wanneer data repositories gebaseerd zijn op de TRUST-principes.



Operations

De TRUST-principes bieden een fundament voor operationele activiteiten van next-level data repositories, met datamanagement-aandacht op het vlak van onder andere ethiek, gebruikersbehoeften en duurzaamheid. Een dergelijke aanpak van robuust en inclusief datamanagement zal de reputatie van instellingen versterken.



TREND #4

Het toenemende belang van augmented data-management

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Transparantie Gelijkwaardigheid Verantwoordelijkheid Integriteit
	Menselijkheid	

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Automatisering en AI; Connectiviteit en interactie;
Digitale transformatie

De hoeveelheid data groeit snel. Daarbij wordt data steeds vaker automatisch gegenereerd, waarbij AI deze ontwikkeling versterkt. Daarnaast zijn databronnen zoals wetenschappelijke instrumenten, sensornetwerken en IoT-apparatuur in toenemende mate aan de orde. Het efficiënt beheren van deze grote hoeveelheden data, het extraheeren van informatie, het creëren van inzichten en het maximaal benutten van de waarde van de data is een uitdagende opgave.

Augmented datamanagement, een vorm van op AI gebaseerde automatisering, is in ontwikkeling en neemt handmatige werkzaamheden van datamanagementteams sterk over, zoals het bouwen van data-orchestratiepijplijnen, kwaliteitsbeoordeling en repetitieve dataintegratieprocessen.

Om het toenemende gebruik van AI voor datamanagement goed te kunnen benutten, is datakwaliteit essentieel. AI wordt daarom erkend als een belangrijke pijler voor data-managementoplossingen die meer content- en datakwaliteitsbewust zijn.



SIGNALEN

Augmented datamanagement werd vijf jaar geleden voor het eerst als trend erkend door Gartner en Deloitte.

Top 10 trends op het gebied van data en analytics voor 2020
(gartner.com) [↗](#)

Tech Trend 2021: Machine data revolution - feeding the machine
(deloitte.com) [↗](#)

IBM lanceert nieuwe contentbewuste dataopslagoplossingen
(ibm.com) [↗](#)

Data Direct Networks introduceert het Data Intelligence Platform (ddn.com) [↗](#)

Augmented datamanagement wordt volwassen

Ontwikkeling van een volwassenheidsmodel voor AI – augmented datamanagement (essay.utwente.nl) [↗](#)

Betrouwbare Europese mediadataroom (TEMS)
(beeldengeluid.nl) [↗](#)

AI verandert onderzoek en onderwijs

Bijdragen aan het web van FAIR-data en de acceptatie van AI
(eosc.eu) [↗](#)

Hoe AI het onderwijs radicaal verandert (weforum.org) [↗](#)

Npuls: Ethisch en effectief gebruik van AI en data (npuls.nl) [↗](#)

IMPACT



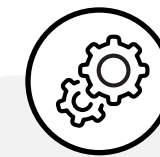
Onderwijs

AI-gestuurd datamanagement kan enorme voordelen opleveren voor het onderwijs, door meer gepersonaliseerd lesmateriaal te ontwikkelen, docenten te ondersteunen bij het beoordelingsproces en het onderwijs te ondersteunen door administratieve taken te automatiseren.



Onderzoek

Naast de manier waarop AI het onderzoek transformeert, kan augmented datamanagement veel repetitieve taken op het gebied van datamanagement automatiseren, zoals het verrijken van metadata, het controleren van de kwaliteit en het ontwikkelen en mogelijk maken van meer contentbewuste datamanagementoplossingen voor onderzoekers, terwijl de waarde van de data behouden blijft.



Operations

Augmented datamanagement werkt alleen effectief met kwalitatief hoogwaardige data. Om te voorkomen dat augmented datamanagement-systemen worden getraind met data van lage kwaliteit, moeten datamanagers semantisch onderlegd zijn (op het gebied van metadata, semantische vocabularia en semantische thesauri) om ervoor te zorgen dat er data van hoge kwaliteit wordt gebruikt.



TREND #5

Opkomst van DNA-gebaseerde gegevens-opslag om gegevens zeer lang te bewaren

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Integriteit Verantwoordelijkheid
	Menselijkheid	

Volwassenheid

WATCH

PLAN

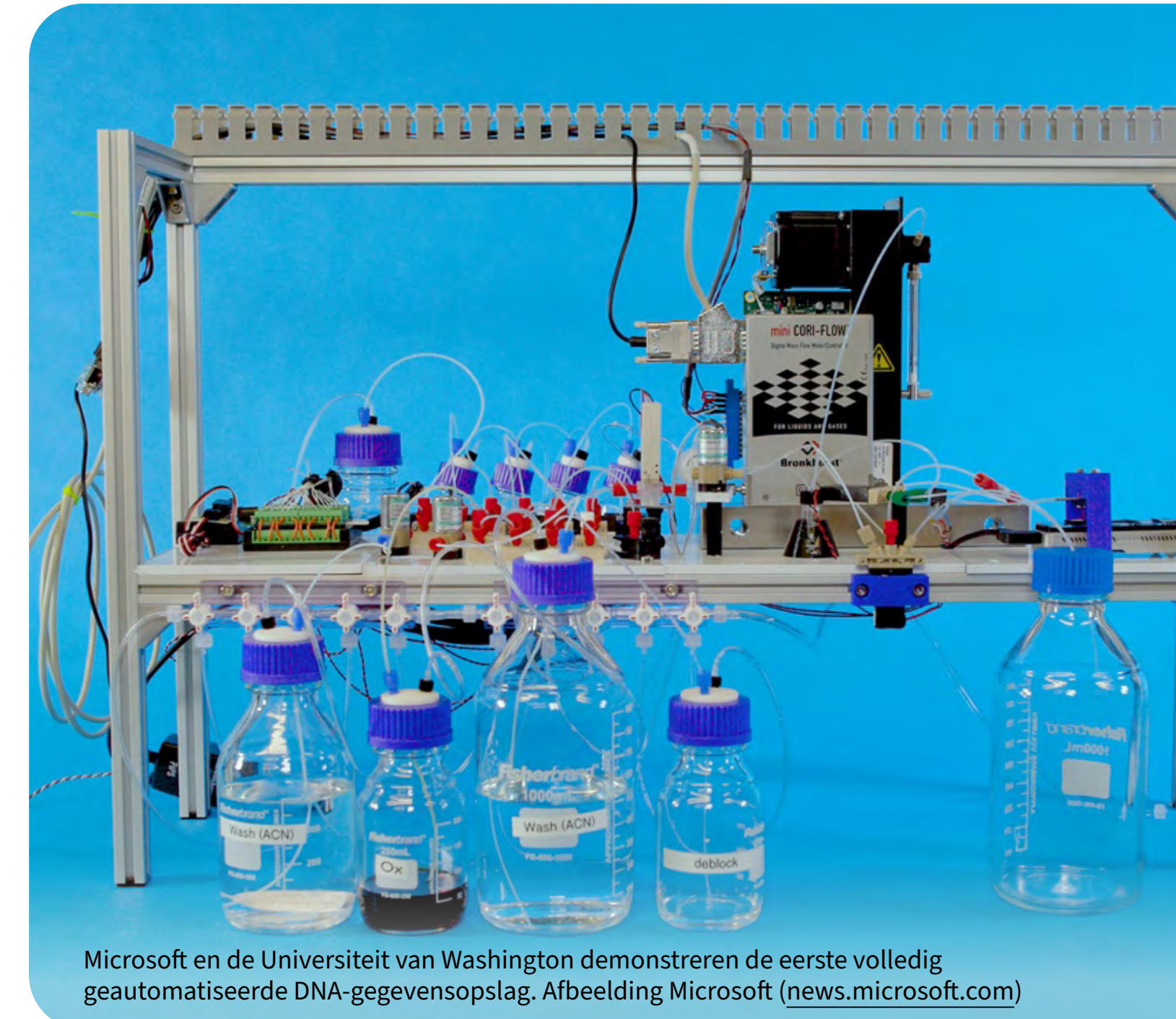
ACT

Drivers

Biotechnologie; Automatisering en AI; Klimaatverandering en opwarming van de aarde; Energievoorziening en -vraag; Vraag naar schoon water; Biodiversiteit; Schaarste aan grondstoffen.

De huidige opslagoplossingen (zoals harde schijven en tapes) zijn in de loop der jaren aanzienlijk uitgebreid, maar dit soort opslagmedia bereikt nu de fysieke grenzen van de gegevensopslagdichtheid. Een nieuw en veelbelovend alternatief is het gebruik van DNA voor het opslaan van binaire gegevens in gesynthetiseerde DNA-strengen.

Deze opslagoplossing – die jaren van R&D vergt voordat deze operationeel is – kan een transformerende impact hebben op data-opslaginfrastructuren en biedt potentiële voordelen op het gebied van datadichtheid, versleutelde opslag, data-integriteit, langdurige gegevensbewaring en duurzame inzetbaarheid. In de tussentijd richt R&D zich bijvoorbeeld op haalbare toegangs-snelheden voor DNA-dataopslag, zodat de industrie geschikte standaarden voor DNA-opslag kan ontwikkelen relevant om de toekomstige toepassing te faciliteren.



Microsoft en de Universiteit van Washington demonstreren de eerste volledig geautomatiseerde DNA-gegevensopslag. Afbeelding Microsoft (news.microsoft.com)

SIGNALEN

Bedrijven die zich bezighouden met 'data synthesis' betreden de markt

Twist Bioscience is een beursgenoteerd biotechnologiebedrijf dat in 2013 is opgericht en dat synthetisch DNA en DNA-producten voor klanten produceert ([twistbioscience.com](https://www.twistbioscience.com)) [↗](#)

CATALOG heeft 's werelds eerste commercieel levensvatbare apparaat voor DNA-opslag en -berekening ontwikkeld (catalogdna.com) [↗](#)

Eerste specificaties vrijgegeven

De DNA Data Storage Alliance heeft de eerste twee specificaties gepubliceerd: Sector Zero en Sector One (dnastoragealliance.org) [↗](#)

Leiders uit de onderzoekswereld en de industrie organiseren zich

De DNA Data Storage Alliance, opgericht in oktober 2020 (dnastoragealliance.org) [↗](#)

De DNA Data Storage Alliance is in 2022 als technologiepartner toegetreden tot de Storage Networking Industry Association (SNIA) (snia.org) [↗](#)

Instituten experimenteren met DNA-gegevensopslag

Onderzoekers van de Universiteit van Washington en Microsoft hebben het eerste volledig geautomatiseerde systeem gedemonstreerd voor het opslaan en ophalen van gegevens in synthetisch DNA ([washington.edu](https://www.washington.edu)) [↗](#)

Nederlands Instituut voor Beeld & Geluid slaat iconische fragmenten van EK'88 op in DNA (nieuws.beeldengeluid.nl) [↗](#)



Nederlands Instituut voor Beeld & Geluid slaat iconisch fragment van EK '88 op in DNA (nieuws.beeldengeluid.nl)

“De gegevensopslagcapaciteit van DNA per gram bedraagt ongeveer 200 miljoen gigabyte, wat miljoenen keren hoger is dan de opslagdichtheid van magneetbanden.” - Tom de Greef, TU/e

IMPACT



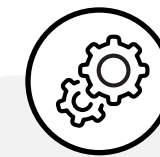
Onderwijs

Hoewel DNA-gebaseerde gegevensopslag nog geen directe invloed heeft op het onderwijs, zou het een nieuw onderwijsthema kunnen worden, of een nieuwe manier voor studenten om te experimenteren met gegevensopslag.



Onderzoek

In onderzoeksgebieden waar data voor lange periodes of zelfs mogelijk permanent bewaard moet blijven vanwege het belang van de gegevens (bijvoorbeeld data van nationale archieven of bedreigde talen), lijken toekomstige DNA-opslagoplossingen mogelijkheden te bieden voor langdurige bewaring.



Operations

- DNA-dataopslag zou een infrastructurele verandering kunnen betekenen in de manier waarop organisaties data voor de lange termijn opslaan, beheren en bewaren. Dit zou nieuwe expertise en industriestandaarden vereisen.
- Nieuwe bedrijven zouden kunnen ontstaan die gespecialiseerd zijn in data-georiënteerde DNA-synthese en -sequencing.



Meer informatie over datamanagement?

[Bezoek surf.nl](https://surf.nl)

Digitaal vertrouwen

Auteurs

Helmer van Merendonk (Hogeschool Utrecht), Juul de Louw (Koning Willem-1 College), Peter Eikelboom (SURF), Marlies Rikken (SURF)

1. Opkomst van betrouwbare authenticatie

2. Meer decentralisatie van gegevenseigendom dankzij SSI-oplossingen

3. Opkomst van organisatorische wallets

4. Bevordering van transparantie in toeleveringsketens met digitale productpaspooten

5. Digital trust frameworks: van hiërarchische naar gedistribueerde modellen van vertrouwen

Inleiding

Vertrouwen vormt de basis van alle digitale interacties. Het is het vertrouwen dat mensen, systemen en technologieën betrouwbaar, veilig en integer zullen handelen. In de digitale wereld betekent vertrouwen dat persoonlijke gegevens worden beschermd, systemen werken zoals bedoeld en technologieën ethische en veilige praktijken handhaven. Naarmate digitale ecosystemen complexer worden, wordt het behouden en verdienen van dat vertrouwen niet alleen een technische uitdaging, maar ook een strategische prioriteit.

Er vindt een verschuiving plaats in de manier waarop digitale identiteiten en verifieerbare credentials van personen, organisaties en objecten (fysiek en digitaal) worden behandeld. De Europese Unie (EU) loopt voorop in deze transformatie met het Digital Europe Program (DIGITAL). Centraal in deze transformatie staat het European Union Digital Identity

(EUDI) Wallet-initiatief, dat burgers meer en veilige controle over hun digitale identiteiten wil geven. In een tijdperk waarin verkeerde informatie, desinformatie en identiteitsmisbruik wijdverbreid zijn, kan het opslaan van digitale identiteiten en credentials in digitale wallets helpen om de verantwoordingsplicht te verbeteren, eigendom te beschermen en misbruik van persoonsgegevens te verminderen. Tegen 2027 zal elke EU-burger toegang hebben tot een eerste versie van een digitale wallet. Deze wallet kan worden gebruikt om persoonlijke gegevens op te slaan en te delen. Deze informatie heeft betrekking op zowel online als offline openbare en particuliere diensten in de hele EU.

De EUDI Wallet zal in veel aspecten van het moderne leven toepasbaar zijn en zal gevolgen hebben voor de manier waarop mensen belangrijke identificatiegegevens gebruiken

en raadplegen. Zo zal het bijvoorbeeld mogelijk zijn om een digitale versie van iemands rijbewijs op te slaan, waardoor het niet meer nodig is om altijd een fysiek exemplaar bij zich te hebben. Naast identificatiegegevens zal de EUDI Wallet zorgen voor een naadloze erkenning van kwalificaties en autorisatie in de hele EU, waardoor toelating tot het onderwijs, het beheer van credentials, de overplaatsing van studenten, sollicitaties en de mobiliteit van talent worden vereenvoudigd. Tegelijkertijd zal fraude worden teruggedrongen en zullen veilige en cryptografisch beschermde identiteiten en credentials worden bevorderd. Dit zal helpen om vervalsing tegen te gaan en het vertrouwen in kwalificaties te vergroten.

De toekomst van digitaal vertrouwen zal mensen meer controle geven over hun eigen gegevens, door conceptuele modellen zoals Self-Sovereign Identity (SSI) te omarmen,

samen met het gebruik van digitale wallets om hun identiteit en credentials te delen. Het succes van deze initiatieven zal een aanzienlijke impact hebben op burgers, alsook op publieke en private organisaties. Digitaal vertrouwen zorgt ervoor dat de identiteiten en gegevens van mensen en organisaties veilig worden behandeld, dat digitale interacties betrouwbaar zijn en dat hun privacy, wat betreft hun identiteit en gegevens, wordt beschermd. Nieuwe typen van vertrouwensnetwerken zullen een digitale wereld creëren die veiliger, eerlijker en betrouwbaarder is voor iedereen.

Bijdragers

Yvo Hunink (oprichter van Regen Studio), **Niels van Dijk** (SURF), **Peter Leijnse** (SURF), **Michiel Schok** (SURF), **Peter Nobels** (HU)

TREND #1

Opkomst van betrouwbare authenticatie

Publieke waarden

-  Autonomie Persoonlijke empowerment
-  Rechtvaardigheid Transparantie | Gelijkwaardigheid | Inclusie | Integriteit
-  Menselijkheid

Volwassenheid

- WATCH
- PLAN
- ACT

Drivers

Individualisering en empowerment; Cybersecurity en vertrouwen; Digitale transformatie

Europese kaders (eIDAS 2.0 en MiCA-verordening) geven het digitale landschap een nieuwe vorm met twee nieuwe concepten: Verifiable Credentials (VC's) en digitale activa. Beide zullen tegen 2030 een verschuiving mogelijk maken naar betrouwbare digitale herkenning van fysieke en digitale objecten.

VC's zijn fraudebestendige digitale bewijzen (diploma's of kwalificaties) die worden uitgegeven door vertrouwde instanties en die individuen in hun digitale wallet kunnen bewaren.

Digitale activa in de vorm van tokens, waaronder niet-vervangbare tokens (NFT's), vertegenwoordigen digitale waarde, toegang of eigendom. Het is ontworpen om overdraagbaar te zijn: zodra een token je wallet verlaat, gaan de bijbehorende rechten mee, waardoor ze geschikt zijn voor (waarde)uitwisseling, eenmalige erkenning of deelname aan initiatieven.

Aspect	Verifiable Credential	Token/digitale activa
Functie	Herbruikbaar bewijs van prestaties of vaardigheden, identiteit of status	Overdraagbare waarde, toegang of deelname
Herbruikbaarheid	Ja, de houder kan het meerdere keren tonen	Nee, het beweegt met eigendom
Privacy	Door de gebruiker gecontroleerde, selectieve openbaarmaking	Vaak openbaar, afhankelijk van het ontwerp van het token
Verificatie	Via digitale handtekening en open standaarden (bijv. W3C, OpenID4VC)	Via blockchain-consensus en slimme contracten

SIGNALEN

Europese regelgeving

eIDAS 2.0-verordening (eur-lex.europa.eu) [↗](#)

Verordening betreffende markten voor crypto-activa (MiCA) (eur-lex.europa.eu) [↗](#)

Nederlandse overheid - Toekomstverkenning Digitalisering 2030 (rijksoverheid.nl) [↗](#)

Onderwijs, vaardigheden en leven lang ontwikkelen

SELFIE voor werkgebaseerd leren (education.ec.europa.eu) [↗](#)

Digitale referenties en leven lang ontwikkelen (unesdoc.unesco.org) [↗](#)

Union of Skills (2024) (commission.europa.eu) [↗](#)

Kaders

Verifiable Credentials en digitale identiteit (2024) - Verifiable Credentials gegevensmodel 2.0 (w3.org) [↗](#)

OpenID voor Verifiable Presentations and Credentials (OpenID4VC) (2024) (openid.net) [↗](#)

Europese digitale identiteitsportemonnee – Architectuur en referentiekader (2024) (eu-digital-identity-wallet.github.io) [↗](#)

Digitale activa en tokens

Tokenisering van activa op de financiële markten: de volgende generatie van waardeoverdracht (2025) (reports.weforum.org) [↗](#)

“Technologieën voor digitaal vertrouwen, zoals Verifiable Credentials, fungeren als de nieuwe onzichtbare handdruk in het digitale tijdperk. Ze stellen mensen en organisaties in staat om bij elke interactie direct en veilig te bewijzen wie ze zijn en wat ze weten.”

- Adam Eunson, COO, AuvoDigital

IMPACT



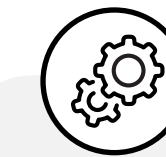
Onderwijs

- Leerlingen/studenten krijgen meer controle over hun leer- en loopbaantrajecten met digitale wallets, waarmee ze betrouwbare, verifieerbare prestaties kunnen beheren en delen over contexten en landsgrenzen heen. Deze verschuiving verhoogt de mobiliteit, autonomie en zichtbaarheid.
- Onderwijsinstellingen nemen nieuwe rollen op zich als uitgevers en validators binnen gedecentraliseerde erkenningsnetwerken, waar formele certificaten en doelgerichte tokens naast elkaar bestaan. Deze transformatie ondersteunt modulaire leertrajecten, gepersonaliseerde erkenning en bredere betrokkenheid van belanghebbenden, van werkgevers tot maatschappelijke partners.



Onderzoek

- Gedecentraliseerde reputatiemodellen en op tokens gebaseerde systemen maken transparantere, collaboratieve ecosystemen en nieuwe manieren om bijdragen te erkennen mogelijk. Op systeemniveau bieden eIDAS 2.0 en MiCA de juridische basis die interoperabele, leerlinggerichte ecosystemen mogelijk maakt en laat opschalen.
- Een toekomstbestendig onderwijs- en onderzoekslandschap, waarin vertrouwen, flexibiliteit en erkenning zijn verankerd, waardoor individuen en instellingen zich kunnen ontplooien in een digitaal verbonden wereld.



Operations

Dankzij interoperabele en betrouwbare gegevensuitwisseling zullen gestroomlijnde processen, minder administratieve taken en geautomatiseerde verwerking van certificaten worden gerealiseerd.

TREND #2

Meer decentralisatie van data-eigendom dankzij SSI-oplossingen

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Onafhankelijkheid Privacy
	Rechtvaardigheid	Inclusie Gelijkwaardigheid Integriteit
	Menselijkheid	Sociale samenhang Betekenisvol contact Welzijn Veiligheid Zelfontplooiing Respect

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Individualisering en empowerment; Cybersecurity en vertrouwen; Digitale transformatie; Dynamiek binnen gemeenschappen en maatschappelijke samenhang

De toenemende waarde van persoonsgegevens heeft geleid tot misbruik door vele actoren in de samenleving, variërend van grote technologiebedrijven tot gegevensmakelaars en zelfs overheden.

Dit heeft geleid tot een tegenbeweging die zich richt op empowerment van gebruikers en bescherming van gegevensrechten. Binnen het domein van digitale identiteit en vertrouwen wordt deze verschuiving naar datadecentralisatie en individuele controle doorgaans aangeduid als Self-Sovereign Identity (SSI).

De kernprincipes van SSI zijn onder meer gegevensoverdraagbaarheid, gegevensminimalisatie en toegang tot persoonsgegevens. In wezen streeft SSI ernaar individuen meer zeggenschap te geven en gegevensrechten te beschermen, waarbij de binnenkort te verschijnen EUDI Wallet een typische SSI-oplossing is.



SIGNALEN

De weg naar Self-Sovereign Identity

(lifewithalacrity.com) [↗](#)

eIDAS 2.0-verordening - kader voor digitale identiteit en authenticatie

(digitale-strategie.ec.europa.eu) [↗](#)

Wet op het hoger onderwijs en wetenschappelijk onderzoek (NL)

(wetten.overheid.nl) [↗](#)

Een digitale identiteit en persoonlijke digitale wallet voor EU-burgers, inwoners en bedrijven

(ec.europa.eu) [↗](#)

Gegevens per bron (digitaleoverheid.nl) [↗](#)

IMPACT



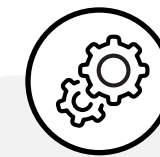
Onderwijs

Onderwijsinstellingen geven diploma's uit die moeten worden opgeslagen om te kunnen worden gevalideerd. Om deze diploma's aan personen te kunnen koppelen is persoonlijke informatie nodig. Dit maakt het een uitdaging om processen te ontwerpen die een evenwicht bieden tussen privacy en bruikbaarheid en tegelijkertijd autonome besluitvorming bevorderen.



Onderzoek

De verschuiving naar Self-Sovereign Identity (SSI) verandert het beheer van persoonsgegevens ingrijpend. Onderzoekers worden aangespoord om goede praktijken te volgen en systemen te reguleren die zowel mensenrechten en wetgeving naleven als technisch uitvoerbaar zijn, en die interdisciplinair onderzoek met brede maatschappelijke en beleidsrelevantie ondersteunen.



Operations

- Oververeenvoudigde gebruikersprocessen kunnen leiden tot onbewuste beslissingen en onbedoelde gegevensuitwisseling, terwijl overmatige complexiteit de bruikbaarheid kan belemmeren. Een evenwichtige aanpak is essentieel. Tools die zijn gebaseerd op principes van Self-Sovereign Identity (SSI) kunnen gebruikers in staat stellen hun rechten uit te oefenen en tegelijkertijd voldoen aan de AVG-vereisten.
- Door gebruikers meer zeggenschap te geven, wordt de institutionele controle over uitgegeven certificaten verminderd. Instellingen moeten identiteiten of wallets verifiëren voordat ze certificaten uitgeven, zodat gebruikers deze certificaten sectoroverstijgend kunnen toepassen.

TREND #3

Opkomst van organisatorische wallets

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Integriteit
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Individualisering en empowerment; Cybersecurity en vertrouwen; Digitale transformatie

Vertrouwens- en interoperabiliteitskwesties hebben zakelijke interacties in heel Europa belemmerd. Het in 2025 aangekondigde initiatief European Business Wallet (EBW) pakt deze inefficiënties aan met een uniforme, grensoverschrijdende digitale identiteitsoplossing voor organisaties.

Organisatorische wallets zijn digitale webgebaseerde wallets die veilige digitale identificatie bieden, het delen van gegevens stroomlijnen en wettelijke kennisgevingen door bedrijven en andere rechtspersonen vergemakkelijken. In tegenstelling tot persoonlijke wallets ondersteunen organisatorische wallets toegang voor meerdere gebruikers en op rollen gebaseerde machtigingen (zoals volmachten).

Met één muisklik kunnen de identiteit, status en kenmerken van een organisatie worden herkend, waardoor fraude (zoals valse websites of phishing) kan worden voorkomen, kosten met betrekking tot compliance kunnen worden verlaagd en grensoverschrijdende samenwerking kan worden versneld.



Organisatorische wallets moeten rekening houden met de complexiteit van de identiteit van rechtspersonen, zoals het beheer van de levenscyclus van credentials, internationale standaarden en integratie met handelsregisters.

SIGNALEN

Beleid

EU-architectuur en referentiekader (ARF) ([github.com](#)) 

European Business Wallet: digitale identiteit, veilige gegevensuitwisseling en wettelijke kennisgevingen voor eenvoudige, digitale bedrijfsvoering. ([ec.europa.eu](#)) 

Gebruiksscenario's en experimenten

Onderzoek naar digitale identiteitsportefeuilles van de EU voor rechtspersonen met Company Passport en iSHARE ([coe-dsc.nl](#)) 

Grootschalige EU-proefprojecten met wallets voor bedrijven ([digital-strategy.ec.europa.eu](#)) 

“Nu de Europese Unie op weg is naar de volledige implementatie van de EU Digital Identity Wallet (EUDI), moeten bedrijven zich voorbereiden op een digitale transformatie in de manier waarop identiteiten worden geverifieerd, klanten worden aangemeld en elektronische handtekeningen worden gezet.”

- Signicat ([signicat.com](#))

IMPACT



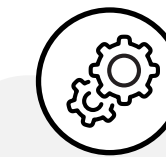
Onderwijs

- Onderwijzers en studenten zouden moeten profiteren van een aanzienlijke vermindering van administratieve vertragingen bij internationale uitwisselings-/mobiliteitsprogramma's zoals Erasmus+ en grensoverschrijdende onderwijs- of studiemogelijkheden.
- Veilige, geverifieerde institutionele credentials maken een snelle en betrouwbare bevestiging mogelijk van inschrijvingen, kwalificaties en affiliaties rond stages, vervolgstudies of samenwerkingsverbanden.
- Minder blootstelling aan phishing en frauduleuze communicatie vergroot het vertrouwen en de digitale veiligheid in wetenschappelijke correspondentie en beschermt persoonlijke en institutionele informatie.



Onderzoek

- Een verminderd risico op identiteitsfraude of frauduleuze samenwerkingsverzoeken beschermt intellectueel eigendom en de geloofwaardigheid van projectonderzoek.
- Geverifieerde institutionele identiteiten zouden de totstandkoming van grensoverschrijdende samenwerkingsverbanden, gezamenlijke financieringsaanvragen en consortiumovereenkomsten moeten versnellen.



Operations

- Onmiddellijke verificatie van de identiteit van instellingen zal een snellere uitvoering van informatie-uitwisseling in Europese publiek-private partnerschappen en onderzoekssamenwerkingen mogelijk maken, waardoor de administratieve werklast wordt verminderd.
- Op rollen gebaseerde digitale toegang en betrouwbare officiële communicatie versterken de veiligheid door het risico op phishing te verminderen en de juridische geldigheid te waarborgen. Bovendien worden de kosten met betrekking tot compliance verlaagd door veilige, geverifieerde informatie-uitwisseling.
- Integratie met interne systemen stroomlijnt het controleren en goedkeuren van credentials, waardoor de efficiëntie wordt verbeterd en processen worden geoptimaliseerd, hoewel er wel een initiële investering in personeelstraining en technologische infrastructuur nodig is.

TREND #4

Bevordering van transparantie in toeleveringsketens met digitale productpaspooorten

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Onafhankelijkheid Privacy
	Rechtvaardigheid	Inclusie Gelijkwaardigheid
	Menselijkheid	Sociale samenhang Betekenisvol contact Welzijn Veiligheid Zelfontplooiing Respect

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Regelgeving en naleving (compliance); Cybersecurity en vertrouwen; Digitale transformatie

De EU-verordening inzake ecologisch ontwerp voor duurzame producten (ESPR) is medio 2024 in werking getreden. Deze verordening verplicht bedrijven om informatie openbaar te maken over de herkomst van hun producten en de milieu-impact ervan. Deze verplichte implementatie van digitale productpaspooorten (DPP's) zorgt ervoor dat productgegevens authentiek, betrouwbaar, en conform regelgeving zijn.

De implementatie van DPP's zal een uitdaging zijn, en productie- en productgegevens moeten worden geverifieerd en toegankelijk zijn via een gegevensdrager. Ontwikkelingen op het vlak van wetgeving zullen invloed hebben op standaarden en DPP-dienstverleners.

Terwijl de wetgeving wordt afgerond, ontwikkelen Europese normalisatie-instellingen de standaarden voor DPP's, die begin 2026 moeten worden aangenomen.



SIGNALEN

Verordening inzake ecologisch ontwerp voor duurzame producten (commission.europa.eu) [↗](#)

Centre of Excellence for Digital Product Passports (coe-dpp.nl) [↗](#)

Gegevensuitwisseling – Digitaal productpaspoort (tno.nl) [↗](#)

Standpuntnota van Fides (voorheen Dutch Blockchain Coalition) over betrouwbare DPP's (fides.community) [↗](#)

“Digitale productpaspoorten zullen het belangrijkste middel worden voor het rapporteren van alle productgerelateerde nalevingsinformatie binnen de Europese Unie. Bedrijven die verder gaan dan alleen voldoen aan de regelgeving en DPP’s centraal stellen in hun supply chain-informatiesystemen, zullen aanzienlijke extra voordelen ervaren.”

- Yvo Hunink, oprichter van Regen Studio en medeauteur van het position paper over betrouwbare digitale productpaspoorten

Gebruiksscenario's en pilots

Demonstratie van functionerende DPP's in verschillende sectoren (cirpass2.eu) [↗](#)

Digitale productpaspoorten: lessen van een early adopter (Brits dameskledingmerk Nobody’s Child) (voguebusiness.com) [↗](#)

IMPACT



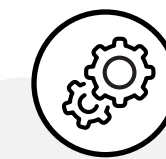
Onderwijs

- Verschillende scholen en universiteiten bespreken al de mogelijkheden van het gebruik van DPP's, de uitdagingen die daarmee gepaard gaan, en werken aan prototypes.
- Studenten onderzoeken de effecten op duurzaamheid, geschikte bedrijfsmodellen en de technische (on)mogelijkheden die gepaard gaan met de inzet van DPP's.



Onderzoek

DPP's kunnen ook relevant zijn voor onderzoek en datasets, met name op het gebied van duurzaamheid, IT, productlevenscyclusanalyse en transparantie in de toeleveringsketen.



Operations

- Onderwijsinstellingen kunnen hun impact op het milieu minimaliseren en hun inkoop- en campusbeheer verbeteren.
- Hoewel ze niet verplicht zijn om te voldoen aan de richtlijn inzake duurzaamheidsverslaglegging voor bedrijven (CSRD), kiezen veel instellingen proactief voor duurzame producten en partners.
- Het DPP zal de inkoop verbeteren, de transparantie vergroten en het vastgoedbeheer verbeteren, waardoor campussen weloverwogen, duurzame keuzes kunnen maken.



TREND #5

Digital Trust Frameworks: van hiërarchische naar gedistribueerde modellen van vertrouwen

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Persoonlijke empowerment Onafhankelijkheid Privacy
	Rechtvaardigheid	Inclusie Gelijkwaardigheid Integriteit
	Menselijkheid	Sociale samenhang Betekenisvol contact Welzijn Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Individualisering en empowerment; Cybersecurity en vertrouwen; Digitale transformatie

Het vertrouwen dat we in diploma's stellen, is grotendeels gebaseerd op verificatie door gezaghebbende bronnen; we kunnen niet uitsluitend vertrouwen op de beweringen van een persoon zelf. Daarom worden onderwijsinstellingen als gezaghebbend beschouwd wanneer ze diploma's en getuigschriften afgeven. Instellingen moeten verifiëren dat de persoon cursussen of examens heeft gevolgd, en de instelling zelf moet aantoonbaar geaccrediteerd zijn.

De huidige vertrouwenskaders (trust frameworks) die dit systeem ondersteunen, zijn grotendeels hiërarchisch. Nieuwe standaarden, zoals OpenID Federation, maken niet-hiërarchisch vertrouwen mogelijk, vormen een aanvulling op bestaande identiteitsfederaties en maken meer onafhankelijke samenwerkingen mogelijk.

Dit neemt echter niet weg dat vertrouwen nog steeds nodig is. Er zijn nog steeds autoriteiten nodig voor de accreditatie van instellingen en diploma's.



Bovendien zijn er, wanneer processen een hoog niveau van vertrouwen vereisen, aanvullende technische controles en organisatorische regels en voorschriften nodig.

SIGNALEN

OpenID wereldwijde standaarden

OpenID Federation 1.0-specificatie (openid.net) [↗](#)

OpenID API-specificatie voor de uitgifte van Verifiable Credentials (openid.net) [↗](#)

Identiteitsfederaties in de praktijk

OpenID Connect Federation: Hoe multilaterale federaties op te zetten met behulp van OIDC (indico.geant.org) [↗](#)

Identiteitsfederaties en het interfederatieve eduGAIN (wiki.geant.org) [↗](#)

EduGAIN OIDC-proefproject (indico.cern.ch) [↗](#)

IMPACT



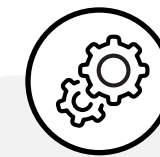
Onderwijs

De rol van instellingen in het onderwijsdata-ecosysteem verandert, en verzoeken om data en toegang tot tools komen zowel van binnen als buiten het ecosysteem. Hierdoor zal het opbouwen van vertrouwen in de authenticiteit van credentials steeds uitdagender worden.



Onderzoek

De invloed van het EU-kader voor digitale identiteit op de adoptie van digitale wallets in onderzoek en onderwijs, en de gevolgen daarvan voor vertrouwenskaders, wordt momenteel onderzocht.



Operations

Instellingen moeten bepalen hoe credentials op betrouwbare wijze aan personen kunnen worden toegekend. Dit vereist identiteitscontrole bij inschrijving, tijdens beoordelingen en mogelijk zelfs bij aanwezigheid.



Meer informatie over digitaal vertrouwen?

[Bezoek surf.nl](https://surf.nl) 

Cybersecurity

Auteurs

Anna Gerasymenko (Universiteit Leiden), Martine Groen (Hogeschool Utrecht),
Mick Deben (MBO Digitaal), Rob Gerritsen (voorheen Graafschap College),
Nicole van der Meulen (SURF)



1. Opkomend dual-use van AI in cybersecurity

2. Toegankelijke privacyverhogende technologieën voor datadeling

3. Toenemende druk om voorbereid te zijn op post-quantumcryptografie

4. Opkomst van maatregelen voor veilige internet-of-things-omgevingen

5. Het groeiende belang van beveiligingsprotocollen voor het werken in de cloud

Inleiding

Het gebied van cyberveiligheid (cybersecurity) heeft een enorme ontwikkeling doorgemaakt sinds computerprogrammeur Bob Thomas in 1971 het Creeper-virus creëerde. Hoewel dit virus, dat gericht was op het Advanced Research Projects Agency Network (ARPANET), geen kwaadaardig virus was, markeerde het een belangrijk moment in de geschiedenis van cyberveiligheid. Meer dan 50 jaar later zijn cyberaanvallen steeds kwaadaardiger geworden en vormen ze een aanzienlijke bedreiging voor de samenleving.

Technologieën zoals artificial intelligence (AI) en internet-of-things (IoT) brengen nieuwe uitdagingen en risico's met zich mee die moeten worden aangepakt om een robuuste cybersecurity te behouden. AI kan bijvoorbeeld helpen om de verdediging tegen cyberaanvallen te verbeteren, maar kan ook de dreiging

vergroten door geautomatiseerde malware mogelijk te maken.

Hoewel deze digitale technologieën organisaties blootstellen aan nieuwe bedreigingen, worden ze ook steeds essentiëler voor organisaties om zichzelf te beheren en te beschermen. Zo zal quantumcomputing de implementatie van complexe en potentieel zeer veilige cyberbeveiligingsprotocollen mogelijk maken. Dergelijke technologieën bieden aanzienlijke kansen voor zowel individuen als organisaties.

Ondanks deze technologische vooruitgang blijft het cruciaal om waakzaam te blijven voor mogelijke bedreigingen. Inzicht in de tools en technieken die cybercriminelen gebruiken en weten hoe je jezelf en je organisatie kunt beveiligen, zijn essentieel voor het behoud van (cyber)weerbaarheid. De afgelopen jaren

hebben incidenten binnen de onderwijssector duidelijk gemaakt welke aanzienlijke schade kan ontstaan door een ogenschijnlijk onschuldige klik van een zogenaamde 'patient zero' (eerste besmette persoon/computer die de aanval verspreidt).

Het is essentieel om te begrijpen hoe technologieën de toekomst van cybersecurity kunnen en zouden kunnen vormgeven. Daarom is dit hoofdstuk opgenomen in het SURF Tech Trends-rapport om uit te leggen hoe nieuwe bedreigingen ontstaan en om de kansen te benadrukken die voortvloeien uit technologieën die niet meer weg te denken zijn uit het dagelijks leven.

Naarmate de samenleving steeds afhankelijker wordt van digitale systemen, zijn cybersecurity en cyberweerbaarheid essentiële

onderdelen geworden van de strategie en bedrijfsvoering van organisaties. Het is voor organisaties essentieel om (gevoelige) data te beschermen, te voldoen aan veranderende wet- en regelgeving (zoals de EU Cyber Resilience Act), IoT-kwetsbaarheden tegen aanvallen of ongeautoriseerde toegang aan te pakken en cyberbedreigingen te mitigeren.

Bijdragers

Zeki Erkin (TU Delft), **Jeroen van der Ham - de Vos** (Universiteit Twente)

TREND #1

Opkomend dual-use van AI in cybersecurity

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Integriteit Rekenschap Transparantie
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

- WATCH
- PLAN
- ACT

Drivers

Automatisering en AI; Cybersecurity en vertrouwen; Technologische vooruitgang en computation; Belang van kennis en vaardigheden; Politieke/strategische inzet van kennis; Digitale transformatie

AI verandert cybersecurity door realtime detectie van bedreigingen te verbeteren en efficiënte reacties op deze bedreigingen mogelijk te maken. AI-modellen kunnen grote datasets en datastromen analyseren, afwijkingen identificeren en aanvallen voorspellen, waardoor ze een cruciaal hulpmiddel zijn voor beveiligingsactiviteiten.

Cybercriminelen maken echter ook gebruik van AI om hun aanvallen te verbeteren. Technieken zoals AI-gestuurde phishing, deepfakes en geautomatiseerde kwetsbaarheidsscans maken cyberaanvallen impactvoller en schaalbaarder. Steeds meer zorgen richten zich op de recente ontwikkelingen bij het inzetten van GenAI voor het automatisch genereren van malware met minimale input. Ook is er bezorgdheid over adversarial machine learning. Daarbij manipuleren aanvallers data om AI-modellen die gebruikt worden voor de cyberverdediging te misleiden, waardoor de modellen bedreigingen over het hoofd zien.



SIGNALEN

Opkomst van offensieve AI-mogelijkheden

Cybercriminelen maken gebruik van grote taalmodellen om contextspecifieke phishing-content en social engineering-scripts te creëren.

- **Phishing en social engineering in het tijdperk van LLM's** (link.springer.com) 
- **Terug naar de hype: een update over hoe cybercriminelen GenAI gebruiken** (ibm.com) 
- **Met generatieve AI wordt social engineering gevaarlijker en moeilijker te herkennen** (ibm.com) 
- **Kunnen cyberaanvallen 'de lichten doven' in Europa?** (knowbe4.com) 

Door AI gegenereerde deepfakes worden steeds vaker gebruikt bij identiteitsfraude en desinformatiecampagnes.

- **Hoe deepfakes, desinformatie en AI verzekeringsfraude versterken** (swissre.com) 
- **Een pro-Russische desinformatiecampagne maakt gebruik van gratis AI-tools om een 'explosie van content' te stimuleren** (wired.com) 
- **De donkere kant van AI: hoe deepfakes en desinformatie een miljardenrisico voor bedrijven worden** (forbes.com) 

“Je ziet dat AI zowel aanvallers als verdedigers kan helpen op het gebied van cybersecurity. Maar de belangrijkste focus blijft liggen op het goed uitvoeren van de basisprincipes wat betreft cyberbeveiliging en -weerbaarheid, waarbij AI een hulpmiddel is.”

- Jeroen van der Ham - de Vos, Universiteit Twente

Open source generatieve modellen stellen actoren met beperkte middelen in staat om moeilijk detecteerbare malware te creëren en aanvallen te automatiseren.

- **Voorspelling voor open source-beveiliging in 2025: AI, overheidsinstanties en toeleveringsketens** (openssf.org) 
- **OpenAI bevestigt dat cybercriminelen ChatGPT gebruiken om malware te schrijven** (bleepingcomputer.com) 
- **Hoe generatieve AI de werkwijze van cybercriminele bendes verandert** (bugcrowd.com) 

SIGNALEN

Defensieve AI-integratie in cyberbeveiligingsoperaties

AI-aangedreven Security Operations Centres (SOC's) gebruiken machine learning om dreigingsdetectie te automatiseren, alarmmoeheid te verminderen en incidentrespons te versnellen.

- **IBM Security, rapport over de kosten van een datalek** (cloudfront.net) [↗](#)
- **Microsoft Security Copilot-inzichten** (microsoft.com) [↗](#)

Gedraganalyses en voorspellende AI-modellen identificeren afwijkingen en voorkomen bedreigingen voordat deze escaleren tot aanvallen (van welke omvang dan ook).

- **SOC's transformeren met AI: van reactieve naar proactieve beveiliging** (cloudsecurityalliance.org) [↗](#)

Network & Extended Detection and Response (NXR/XDR) platforms integreren AI om realtime correlatie van aanvallen, autonome triage en adaptieve verdediging te bieden.

- **Microsoft - Wat is uitgebreide detectie en respons (XDR)?** (microsoft.com) [↗](#)
- **Vectra.ai** (vectra.ai) [↗](#)

Risico's van vijandige AI beperken

Cyberverdedigers gebruiken tegenaanvalstraining en robuuste modelafstemming om AI-systemen beter bestand te maken tegen manipulatie en kwaadaardige invoer.

- **NIST AI-risicobeheerkader** (nist.gov) [↗](#)
- **MITRE ATLAS Framework** (atlas.mitre.org) [↗](#)

AI-red teaming en model auditing worden steeds vaker toegepast om kwetsbaarheden in machine learning-pijplijnen te identificeren voordat aanvallers hiervan misbruik kunnen maken.

- **Anthropic: uitdagingen bij red teaming** (anthropic.com) [↗](#)
- **Microsoft Red Team** (learn.microsoft.com) [↗](#)

Threat intelligence-platforms bevatten nu AI-detectiemodules om synthetische media, vervalst gedrag en gemanipuleerde datasets te signaleren.

- **Recorded Future** (recordedfuture.com) [↗](#)
- **Darktrace** (darktrace.com) [↗](#)
- **TNO en Jungle AI werken samen om cyberaanvallen op windturbines op te sporen en de detectiemogelijkheden te verbeteren** (tno.nl) [↗](#)



IMPACT



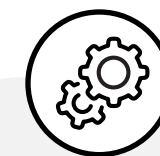
Onderwijs

AI-tools bieden de mogelijkheid om online leeromgevingen te beveiligen door middel van anomaliedetectie en gedragsanalyse. Misbruik van AI kan echter de integriteit van het onderwijs ondermijnen door middel van geautomatiseerd spieken, deepfakes of phishing. Om AI in het onderwijs te beveiligen, moet een evenwicht worden gevonden tussen innovatie en ethische en wettelijke waarborgen.



Onderzoek

Onderzoeksinstellingen profiteren van AI voor geavanceerde dreigingsmodellering, gegevensbescherming en netwerkmonitoring. Open access-beleid en samenwerkingsverbanden op onderzoeksgebied vergroten echter ook de blootstelling aan AI-gedreven dreigingen. Robuust modelbeheer en weerbaarheid tegen vijandige acties zijn essentieel voor het behoud van de integriteit van onderzoek.



Operations

Naarmate instellingen digitaliseren, verbetert de integratie van AI in de cyberbeveiligingsinfrastructuur de real-time respons en vermindert de afhankelijkheid van handmatig toezicht. Maar AI-systemen worden dan zelf ook waardevolle doelwitten. Instellingen moeten veilige AI-pijplijnen bouwen en investeren in op bedreigingen gebaseerde AI-implementatiestrategieën om de operationele veiligheid op lange termijn te waarborgen.



TREND #2

Toegankelijkere privacyverhogende technologieën voor datadeling

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Integriteit Gelijkwaardigheid Transparantie Rekenschap
	Menselijkheid	

Volwassenheid

- WATCH
- PLAN
- ACT

Drivers

Compliance en regelgeving; Cybersecurity en vertrouwen; Automatisering en AI; Individualisering en empowerment; Digitale transformatie; Belang van kennis en vaardigheden

Privacyverhogende technologieën (privacy-enhancing technologies; PET's) beschermen gevoelige informatie en maken tegelijkertijd veilige gegevensverwerking en -uitwisseling mogelijk. De inzet van PET's – zoals differentiële privacy, synthetische datasets die lijken op echte gevoelige gegevens, federatief leren en homomorfe encryptie – wordt gestimuleerd door de groeiende vraag naar data in het onderwijs en onderzoek en vanwege de persoonlijke en vertrouwelijke aard van bepaalde data.

De recente beschikbaarheid van sector-specifieke oplossingen hebben PET's beter toegankelijk gemaakt. Daarmee ontstaat ruimte voor privacygerichte datadeling en data-analyse tussen meerdere partijen via onderzoeksinitiatieven en publiek-private samenwerkingen.

Door PET's in IT-architecturen te integreren, worden traditionele security-by-design-benaderingen aangevuld met datacentrische

controles, waardoor de kwetsbaarheid van organisaties wordt verminderd en ongeoorloofde toegang wordt tegengegaan.



SIGNALEN

Groei van oplossingen voor synthetische data

Information systems audit and control association (ISACA) (isaca.org) [↗](#)

Onderzoekers aan de Erasmus Universiteit worden aangemoedigd om gebruik te maken van AI-gestuurde synthetische data die wordt gegenereerd door Syntho Engine (2023) (syntho.ai) [↗](#)

De Universiteit Utrecht heeft het MetaSyn-platform ontwikkeld voor geanonimiseerde en FAIR-gegevenspublicatie (uu.nl) [↗](#)

Dienst Uitvoering Onderwijs (DUO) heeft synthetische datasets gedeeld met Nederlandse onderzoekers om onderzoeksmodellen te trainen en het onderwijssysteem te helpen verbeteren (duo.nl) [↗](#)

TNO PET Lab heeft als doel het gebruik van PET's in innovatie te faciliteren en te verspreiden (tno.nl) [↗](#)

Federatieve en veilige proefprojecten voor data-analyse

SPATIAL (TU Delft) gaat PET's integreren om betrouwbare, transparante en verklaarbare AI-oplossingen voor cyberbeveiliging te realiseren (spatial-h2020.eu) [↗](#)

Het Amsterdam University Medical Centre past Federated Analytics toe om gezamenlijk voorspellende modellen voor IC-uitkomsten te ontwikkelen (amc.nl) [↗](#)

In Nederland onderzoeken de Sociale Verzekeringsbank (SVB) en het Uitvoeringsinstituut Werknemersverzekeringen (UWV) met succes Multi-Party Computation (MPC) bij het Nationaal Innovatiecentrum voor Privacyversterkende Technologieën (NICPET) (tno.nl) [↗](#)

PET's bij grensoverschrijdende gegevensuitwisseling

Oproep tot federatieve infrastructuur voor gegevens van intensive care-afdelingen in heel Europa (doi.org) [↗](#)

EU Safe-DEED-consortiumproject gaat PET's aanbieden voor datamarkten

- eurecat.org [↗](#)
- tudelft.nl [↗](#)

Nederlands HERACLES-project legt basis voor veilige uitwisseling van gegevens tussen de publieke en private sector in de gezondheidszorg (tno.nl) [↗](#)

IMPACT



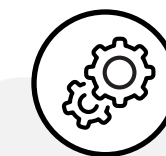
Onderwijs

Naarmate het onderwijs digitaliseert, zullen PET's cruciaal worden voor het beveiligen van data van studenten en medewerkers in online leeromgevingen. Met behulp van cryptografische technieken en federatief leren pakken PET's privacy- en veiligheidsproblemen in leeranalyses aan, verminderen ze risico's en bevorderen ze het vertrouwen tussen studenten en docenten in adaptieve, datagestuurde of gepersonaliseerde onderwijs-systemen.



Onderzoek

PET's bieden onderzoekers veilige toegang tot gevoelige of verspreide datasets, waardoor privacy-, reputatie- en strategische risico's in verband met het delen van data worden beperkt. Hoewel deze technologieën meer vertrouwen in innovatief onderzoek beloven, verhogen ze ook de druk op instellingen om deze te faciliteren vanuit de ondersteunende IT-infrastructuur.



Operations

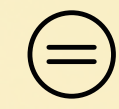
Naarmate onderwijsinstellingen opkomende technologieën (zoals AI en edge computing) en meer volwassen technologieën (zoals cloudcomputing) adopteren, neemt de behoefte aan robuust digitaal vertrouwen en data-gerichte beveiliging toe. PET's zullen essentieel worden voor het realiseren van betrouwbare en transparante beveiligingsoplossingen, die bepalend zijn voor de toekomstige IT-beveiliging en naleving van regelgeving. De volwassenheid en interoperabiliteit van PET's zullen de sectorbrede implementatie ondersteunen.



TREND #3

Toenemende druk om voorbereid te zijn op post-quantum-cryptografie

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Integriteit Rekenschap Duurzaamheid
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Technologische vooruitgang en computation; Cybersecurity en vertrouwen; Automatisering en AI; Regelgeving en naleving (compliance); Kritieke infrastructuur; Digitale transformatie

Zodra quantumcomputers voldoende schaalgrootte hebben bereikt, zullen traditionele cryptografische systemen, die worden gebruikt in digitale handtekeningen en beveiligde communicatie, uiterst kwetsbaar zijn voor aanvallen.

Veel van onze huidige infrastructuren missen crypto-agility (adaptief cryptografiebeleid). Dit vertraagt de overgang naar robuuste cryptografische systemen en leidt tot blootstelling aan store now–decrypt later-dreigingen ('nu opslaan en later ontsleutelen'). De meeste organisaties zijn of zullen aan deze decryptiedreigingen worden blootgesteld. De gereedheid van hun gegevens- en communicatiebescherming hangt af van de adoptie van post-quantumcryptografie (PQC).

Momenteel heeft het Amerikaanse agentschap NIST standaarden voor PQC-encryptie gepubliceerd en moedigt systeembeheerders aan om deze zo snel mogelijk te overwegen en toe te passen. Daarnaast streven Europese initiatieven zoals de European

Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI) ernaar om veilige communicatienetwerken op te zetten met behulp van quantum key distribution (QKD), waardoor de distributie van cryptografische sleutels mogelijk wordt gemaakt en versneld.



SIGNALEN

Standaardisatie van post-quantum-cryptografie

NIST publiceert de eerste drie definitieve standaarden op het vlak van post-quantum encryptie (nist.gov) 

NIST standaardiseert quantumveilige cryptografiemethoden (cwi.nl) 

Strategie 'Nu opslaan, later ontsleutelen'

Overheidsinstanties verzamelen nu al versleutelde data om die later met quantumcomputers te ontsleutelen, als onderdeel van de aanpak 'nu opslaan, later ontsleutelen' (enisa.europa.eu) 

Quantumbeveiligingsinitiatieven van de nationale overheid

Het Nationaal Cyber Security Centrum (NCSC) en de AIVD nemen het voortouw bij het voorbereiden van organisaties op quantumdreigingen, door advies te geven over het in kaart brengen van het gebruik van encryptie en de overgang naar quantumveilige technologieën (ncsc.nl) 

Volgende stappen National Cyber Security Centre (VK): Voorbereiding op post-quantumcryptografie (ncsc.gov.uk) 

EuroQCI-project: bouwen aan quantum-veilige communicatie

Het project European Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI) heeft tot doel een veilig communicatienetwerk in heel Europa op te zetten met behulp van quantum key distribution (QKD), waardoor langdurige bescherming tegen quantumdreigingen wordt gewaarborgd (digital-strategy.ec.europa.eu) 

Ondersteuning voor crypto-agility

PQC-handboek - Evalueer en plan een naadloze migratie naar post-quantumcryptografische systemen (aivd.nl) 

IMPACT



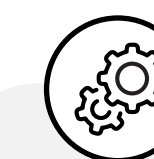
Onderwijs

- Post-quantumbeveiligingsinbreuken zijn mogelijk vanwege open IT-omgevingen, afhankelijkheid van externe cloudproviders en het langdurig bewaren van vertrouwelijke data.
- Identiteiten van bijvoorbeeld studenten kunnen in gevaar komen door de openbaarmaking van cijferlijsten, beoordelingen of persoonlijke informatie.
- Gearchiveerde lesmaterialen, communicatie of certificeringsgegevens kunnen worden vervalst of gewijzigd.



Onderzoek

- “Nu opslaan, later ontsleutelen” vormt een aanzienlijke bedreiging voor de vertrouwelijkheid van onderzoek. Informatie zoals genetische data en AI-modellen die vandaag wordt onderschept en opgeslagen, kan later worden ontsleuteld, met risico op blootlegging van vertrouwelijke of bedrijfsgevoelige informatie.
- Onderzoekspartners kunnen aarzelen om gegevens te delen of samen te werken als er quantumonveilige systemen worden gebruikt, wat kan leiden tot een verstoring van de op vertrouwen gebaseerde samenwerking.
- Universiteiten die betrokken zijn bij octrooieerbaar of commercieel relevant onderzoek kunnen hun concurrentievoordeel verliezen in geval van diefstal van intellectueel eigendom.
- Het niet beveiligen van gegevens kan leiden tot beperkingen van financieringsinstanties of niet-naleving van ethische en wettelijke vereisten.



Operations

Het opkomende risico dat quantumcomputers uiteindelijk de huidige versleutelingsalgoritmen zullen kraken, zet staatsactoren er nu al toe aan om data met een langdurige gevoeligheid op te slaan en later te ontsleutelen. Daarom moet er een belangrijke PQC-infrastructuur worden opgezet. Zonder vroegtijdige PQC-maatregelen op het gebied van beleid en infrastructuurfinanciering lopen instellingen het risico dat hun data op lange termijn worden blootgesteld en dat het vertrouwen wordt ondermijnd.

TREND #4

Opkomst van maatregelen voor veilige internet-of-things-omgevingen

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Rekenschap Integriteit
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Connectiviteit en interactie; Cybersecurity en vertrouwen; Digitale transformatie; Regelgeving en naleving (compliance); Kritieke infrastructuur; Individualisering en empowerment

Het internet-of-things (IoT) is niet meer weg te denken en zorgt voor een revolutie in verschillende sectoren door de efficiëntie te verbeteren en meer inzichten te bieden. Toch brengt het ook aanzienlijke veiligheidsuitdagingen en risico's met zich mee, bijvoorbeeld op het gebied van identificatie, authenticatie en eigendom van 'slimme' apparaten, zoals autonome drones.

De afgelopen 10 jaar hebben ontwikkelaars en leveranciers van IoT hun verantwoordelijkheid voor beveiligingsupdates gedurende de levensduur van producten verwaarloosd, wat cybersecurity-kwestsbaarheden heeft gecreëerd binnen organisaties.

Om dergelijke risico's te beperken, worden beveiligingsoplossingen ontwikkeld, zoals endpointbescherming. Daarnaast zal nieuwe wetgeving, zoals de Cyber Resilience Act, IoT-ontwikkelaars en -leveranciers verplichten om gedurende de hele levensduur van een product beveiligingsupdates te verstrekken.



SIGNALEN

IoT-apparaten worden geïntegreerd in de dagelijkse praktijk

IoT-apparaten zijn te vinden en nemen toe in alle verticale markten en toeleveringsketens, in hun integratie in dagelijkse praktijken, of het nu in het ziekenhuis, de fabriek of thuis is (demandsage.com) [↗](#)

De EU-wet inzake cyberweerbaarheid (CRA) van kracht vanaf 2024 (digital-strategy.ec.europa.eu) [↗](#)

IoT-beveiliging heeft zijn eigen specifieke beveiliging

Een overzicht van meervoudige authenticatie in internet of healthcare things (doi.org) [↗](#)

UTwente heeft een IoT Cyberlab geopend (utwente.nl) [↗](#)

Edge AI: cloud en apparaten verbinden voor veilige, duurzame AI (doiotfieldlab.tudelftcampus.nl) [↗](#)

Praktische maatregelen en richtlijnen

Tips van het Nationaal Cyber Security Centrum (ncsc.nl) [↗](#)

Richtlijnen voor het beveiligen van het internet-of-things (enisa.europa.eu) [↗](#)

IMPACT



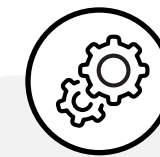
Onderwijs

Beroepsopleidingen zoals system-engineering integreren IoT en de beveiligingsaspecten ervan in het curriculum. De toepassing van IoT in onderwijsmethoden richt zich echter minder op digitale technologie, zoals het geven van directe feedback. Het mogelijk maken van gepersonaliseerd leren blijft beperkt.



Onderzoek

- De veilige implementatie van IoT kan ook bijdragen aan het verzamelen van data voor wetenschappelijk onderzoek (bijvoorbeeld via apparaten en wearables).
- IoT en de beveiliging van IoT worden onderzocht in een breed scala aan toepassingen bij onderzoeksinstellingen. Dit omvat bijvoorbeeld privacybeschermende en veilige protocollen voor wearables in de gezondheidszorg, slimme verkeersbeheersystemen en de ontwikkeling van modellen die IoT-aanvallen detecteren en classificeren.



Operations

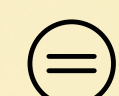
IoT wordt vaak over het hoofd gezien door IT-beveiligingsdiensten, ondanks de aanzienlijke toename van het aanvalsoppervlak (kwetsbare plekken waarop cyberaanvallen kunnen plaatsvinden). Het is van belang dat IT-securityteams grip krijgen op hun (verborgen) IoT-assets, veilig gebruik van IoT stimuleren en medewerkers en studenten informeren over de risico's van IoT. Instellingen wordt aangeraden om IoT-netwerken te isoleren, speciale servers te gebruiken en governancekaders te implementeren om een veilige invoering van IoT te waarborgen.



TREND #5

Het groeiende belang van beveiligingsprotocollen voor het werken in de cloud

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Integriteit Rekenschap Transparantie
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Automatisering en AI; Technologische vooruitgang en computation; Cybersecurity en vertrouwen; Digitale transformatie; Dienstgerichte en waardegedreven economieën; Belang van kennis en vaardigheden

Cloud computing maakt uitzonderlijke schaalbaarheid, flexibiliteit en kostenbesparing mogelijk. Toch leidt de wijdverspreide inzet van cloudservices tot aanzienlijke beveiligingsrisico's. Deze hebben te maken met gedeelde verantwoordelijkheden tussen cloudproviders en -gebruikers, een vergroot aanvalsoppervlak, afhankelijkheid van externe dienstverleners (toeleveranciers) en onvoldoende transparantie in de gebruikte software en hardware.

Bovendien maakt AI-integratie beveiligings- en privacykwesties complexer. Hybride cloudopstellingen vereisen robuuste beveiligingsmaatregelen, zoals zero-trustaanpak (met nadruk op voortdurende authenticatie en beperkte toegang tot netwerkbronnen), continue monitoring en krachtige encryptie.



SIGNALEN

Europese en nationale alternatieven voor clouddiensten

Start Next Cloud-pilot: zeventig onderzoekers van vijf Nederlandse universiteiten (communities.surf.nl) [↗](#)

Vijf Nederlandse universiteiten experimenteren met alternatieve Europese cloudoplossingen (voxweb.nl) [↗](#)

Nederlandse overheid zet in op Nederlandse soevereine cloud voor gevoelige informatie

- security.nl [↗](#)
- open.overheid.nl) [↗](#)

EU FED Cloud, die voldoet aan relevante EU-regelgeving zoals de Data Act, AI Act, GDPR, eIDAS, DORA en EUCS (eufedcloud.eu) [↗](#)

EOSC EU Node (open-science-cloud.ec.europa.eu) [↗](#)

Europese juridische ontwikkelingen

NIS2-richtlijn van kracht, ook in het hoger onderwijs (bedrijfsleven.nl) [↗](#)

EU-verordening Cyber Resilience Act (CRA) (eur-lex.europa.eu) [↗](#)

IMPACT



Onderwijs

- De manier waarop gewerkt wordt met cloudcomputingtechnologieën ontwikkelt zich voortdurend. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om het wisselen tussen cloudproviders en -oplossingen, meer aandacht voor cybersecurity en het belang van datasoevereiniteit en soevereiniteit in bredere zin. Dergelijke onderwerpen krijgen steeds meer een plek in onderwijsprogramma's.
- Aanpassingen in IT-opleidingsprogramma's kunnen helpen om de cruciale vaardigheden van cybersecurityprofessionals te versterken.



Onderzoek

- Door het tekort aan cybersecurityprofessionals blijven onderzoekomgevingen kwetsbaar voor cyberdreigingen, wat de integriteit van onderzoeksprocessen en -resultaten kan aantasten. Om dit te beperken, kan worden onderzocht hoe cybersecuritybewustzijnstrainingen voor onderzoekers kunnen worden ingezet.
- Gedeelde verantwoordelijkheden kunnen leiden tot datalekken of gegevensverlies, vooral als onderzoekers niet op de hoogte zijn van beveiligingsprotocollen.
- Onderzoekers moeten zich houden aan verschillende voorschriften met betrekking tot gegevensbescherming en privacy, wat door de cloudomgeving nog ingewikkelder kan worden.



Operations

- Naarmate instellingen steeds meer cloudoplossingen inzetten, wordt zorgvuldige planning en versterkte beveiliging essentieel om gevoelige gegevens te beschermen, compliance te waarborgen en de weerbaarheid tegen dreigingen te behouden. Ook de impact van data- en systeemmigraties zal groot zijn. Bovendien wordt verwacht dat het gebruik van open-source software (OSS) verder zal groeien.
- Hoewel hybride cloudomgevingen flexibiliteit bieden, vereisen ze geavanceerde beveiligingsmaatregelen, die voor sommige onderzoeksinstellingen moeilijk effectief te implementeren kunnen zijn.

Meer informatie over cybersecurity?

[Bezoek surf.nl](https://surf.nl) 

Cloud-computing

Auteurs

Dawa L.A. Ometto (Universiteit Utrecht), Giuseppe Gianquitto (SURF)

1. Toenemende investeringen in de Europese cloudinfrastructuur en soevereiniteit
2. Meer AI-gestuurde hardware in datacenters om workloads in de cloud te beheren
3. Computing dichterbij de bron van data brengen
4. Toenemende behoefte aan geautomatiseerd beheer van cloud- en edgevoorzieningen
5. Naar cloud-native diensten en applicatieontwerp voor onderzoek



Inleiding

De kern van de digitale infrastructuur wordt gevormd door twee verschillende, maar complementaire, gedistribueerde computerplatforms. Enerzijds biedt cloud computing – het centrale thema van dit hoofdstuk – via private cloudvoorzieningen en commerciële cloudproviders uitgebreide, on-demand toegang tot schaalbare rekenkracht en gegevensopslag via het netwerk. Dankzij cloud computing kunnen organisaties en particulieren betalen op basis van hun werkelijke gebruik, in plaats van te investeren in hun eigen dure infrastructuur. Anderzijds brengt edge computing de computerfuncties dichterbij de plaats waar de lokale gegevens worden gegenereerd: aan de rand van het netwerk. Edge computing maakt real-time responsiviteit op lokale gegevens mogelijk, verminderen het netwerkverkeer, behouden de functionaliteit tijdens onderbrekingen van de verbinding met centrale systemen en

zorgen ervoor dat gevoelige gegevens op het lokale apparaat kunnen blijven staan. Edge computing heeft zich snel ontwikkeld door de explosieve groei van IoT-apparaten (internet-of-things) die zijn uitgerust met grote hoeveelheden en grote verscheidenheid aan gegevensproducerende sensoren in bijvoorbeeld auto's, apparatuur voor de gezondheidszorg, openbare infrastructuur en productiemachines. Deze twee kaders, die vroeger als afzonderlijke benaderingen werden beschouwd, groeien steeds meer samen tot een uniform kader dat bekend staat als het computing continuüm. Dit continuüm verbindt naadloos de kleinste sensor aan de rand van het netwerk met een supercomputer in een centraal datacenter, waardoor een verscheidenheid aan gegevensverwerkingsmogelijkheden wordt gefaciliteerd.



De belangrijkste katalysator voor het computing continuüm is de niet-aflatende vooruitgang van artificial intelligence (AI). Voor het optimaal functioneren van hedendaagse AI-systemen gelden twee belangrijke vereisten. Ten eerste zijn er enorme, gecentraliseerde high-performance computing (HPC)-middelen nodig voor het trainen van AI-modellen en voor grootschalige en complexe data-analyse. Ten tweede is gedecentraliseerde verwerking noodzakelijk om tijdens de werking een lage latentie te garanderen, zodat deze AI-modellen, of compacte versies daarvan, in praktijktoepassingen kunnen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld voor synchronisatie met de cloud voor verdere big data-analyse.

Het huidige cloud computing-landschap wordt sterk beïnvloed door strategische wereldwijde concurrentie. Hyperscalers (grote technologiebedrijven die op grote schaal cloudcomputing-diensten leveren) lopen voorop in deze dynamiek. Hyperscalers zoals Amazon Web Services (AWS), Google Cloud, Oracle Cloud Infrastructure (OCI) en Microsoft Azure leveren krachtige diensten en hebben een zeer dominante marktpositie in regio's als de VS en Europa.

In Europa worden maatregelen genomen om de digitale soevereiniteit van Europa in de cloudsector te versterken. In 2025 stelt de Europese Commissie de Cloud and AI Development Act voor, met als doel de datacenter-capaciteit van de EU in de komende 5 tot 7

jaar minstens te verdrievoudigen. Dit soort (beleids)ontwikkelingen zullen leiden tot uitgebreide Europese cloudinfrastructuren – zowel private als publieke – om te voldoen aan de behoeften van EU-bedrijven en overheidsinstanties die de voorkeur geven aan soevereine clouddiensten, waaronder Europese gegevensopslag. Samenwerking op Europees niveau is echter van cruciaal belang voor deze ambitie, waarbij initiatieven zoals Gaia-X en European Open Science Cloud (EOSC) waardevolle lessen bieden.

Bijdragers

Alex Chiumento (Universiteit Twente),
Javier Ferreira Gonzalez (Saxion Hogeschool)

TREND #1

Toenemende investeringen in de Europese cloud-infrastructuur en soevereiniteit

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Onafhankelijkheid Privacy
	Rechtvaardigheid	Transparantie Duurzaamheid Verantwoordelijkheid
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit; Regelgeving en naleving (compliance); Cybersecurity en vertrouwen; Automatisering en AI; Digitale transformatie; Wereldhandel en handelsheffingen

GenAI heeft een aanzienlijke invloed gehad op de cloudmarkt: de helft van de stijging van de wereldwijde (commerciële) cloud-dienstinkomsten sinds de lancering van ChatGPT (eind 2022) is te danken aan GenAI. Met name in Europa laten GenAI-specifieke diensten zoals GPU-as-a-Service (GPUaaS) en GenAI Platform-as-a-Service (PaaS) de afgelopen jaren uitzonderlijk hoge groei-cijfers zien. De belangrijkste begunstigden van deze Europese marktgroei zijn de Amerikaanse bedrijven Amazon, Microsoft en Google, die samen nu goed zijn voor 70% van de regionale markt op basis van omzet. Europa maakt een sterke en voortdurende ontwikkeling door op het gebied van digitale soevereiniteit, met als doel de afhankelijkheid van Amerikaanse cloudproviders te verminderen en meer controle te krijgen over gevoelige informatie. Dit is de reden waarom grote wereldwijde cloudproviders aanzienlijke investeringen doen in Europa om tegemoet te komen aan de bezorgdheid over digitale soevereiniteit. Als gevolg hiervan

blijft het marktaandeel van Europese cloudproviders relatief constant op ongeveer 15% van de Europese cloudmarkt, ondanks de Europese ambities en investeringen.



SIGNALEN

Cloudintegratie in de academische wereld

Hyperscalers, zoals AWS en Microsoft, lanceren speciale EU-soevereine cloudoplossingen om te voldoen aan de vereisten op het gebied van gegevensopslag en regelgeving. European Open Science Cloud (EOSC) en Gaia-X bieden federatieve omgevingen die aansluiten bij de waarden van de EU.

AWS onthult onafhankelijk Europees bestuur en onafhankelijke Europese activiteiten voor European Sovereign Cloud ([infoq.com](https://www.infoq.com/news/2024/04/aws-eu-sovereign/)) [↗](#)

Aankondiging van uitgebreide soevereine oplossingen die Europese organisaties meer mogelijkheden bieden ([blogs.microsoft.com](https://blogs.microsoft.com/en-us/2024/04/04/eu-sovereign-cloud/)) [↗](#)

Het GÉANT Innovation Programme financiert een initiatief voor een digitale onderzoeksomgeving (DRE) om geïntegreerde, cloudgebaseerde onderzoeksplatforms te creëren ([connect.geant.org](https://connect.geant.org/en/news/2024/04/04/dre/)) [↗](#)

European Open Science Cloud (EOSC) ontwikkelt een gefedereerde, betrouwbare omgeving waarin onderzoekers in heel Europa gegevens en diensten voor open science kunnen delen, raadplegen en hergebruiken ([research-and-innovation.ec.europa.eu](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/en/eosc/)) [↗](#)

Omvang van de cloudmarkt

De cloudmarkt groeide in 2024 naar 330 miljard dollar – GenAI is nu verantwoordelijk voor de helft van de groei ([srgresearch.com](https://www.srgresearch.com/en/news/2024/04/04/cloud-market-growth/)) [↗](#)

Het lokale marktaandeel van Europese cloudproviders blijft stabiel op 15% ([srgresearch.com](https://www.srgresearch.com/en/news/2024/04/04/european-cloud-market/)) [↗](#)

De toekomst van de cloud in 2029: de reis van technologie naar zakelijke noodzaak ([gartner.com](https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-04-04-future-of-cloud)) [↗](#)

Bedrijfstrends voor 2024: cloud ontmoet AI ([redhat.com](https://www.redhat.com/en/blog/enterprise-trends-2024)) [↗](#)

Marktaandeel cloud 2024 - Groei van AWS, Azure en GCP gestimuleerd door AI ([holori.com](https://www.holori.com/en/news/2024/04/04/cloud-market-share/)) [↗](#)

Wereldwijd marktaandeel cloudinfrastructuur 2024 ([statista.com](https://www.statista.com/statistics/1288887/global-cloud-infrastructure-market-share/)) [↗](#)

Amazon en Microsoft blijven aan kop in de wereldwijde cloudmarkt ([statista.com](https://www.statista.com/statistics/1288887/global-cloud-infrastructure-market-share/)) [↗](#)

AWS blijft met 330 miljard dollar marktleider in de cloudmarkt, gedreven door de groei van AI ([technologymagazine.com](https://www.technologymagazine.com/en/news/2024/04/04/aws-leads-cloud-market/)) [↗](#)

Cloudmarkt groeide in 2024 naar 330 miljard dollar ([srgresearch.com](https://www.srgresearch.com/en/news/2024/04/04/cloud-market-growth/)) [↗](#)

Europese cloudproviders groeien, maar verliezen marktaandeel aan Amerikaanse giganten ([techrepublic.com](https://www.techrepublic.com/en/news/2024/04/04/european-cloud-providers/)) [↗](#)

Europese cloudklanten overwegen vertrek bij Amerikaanse hyperscalers ([theregister.com](https://www.theregister.com/2024/04/04/european-cloud-clients/)) [↗](#)

SIGNALLEN

Uitbreiding van de Europese cloudinfrastructuur

De ontwikkeling van een nationaal Gaia-X-testbed in Nederland gaat door, waardoor het ecosysteem van betrouwbare, soevereine cloudopties wordt uitgebreid.

Testomgeving voor clouddiensten: Structura-X (tno.nl) [↗](#)

Europese cloudcomputing

- Platforms (european-alternatives.eu) [↗](#)
- Beleid (digitale-strategie.ec.europa.eu) [↗](#)
- De cloudsovereiniteitsnexus: hoe de Europese Unie strategische afhankelijkheden wil omkeren (onlinelibrary.wiley.com) [↗](#)

Digitale soevereiniteit in Europa: omgaan met de uitdagingen van het digitale tijdperk (pppescp.com) [↗](#)

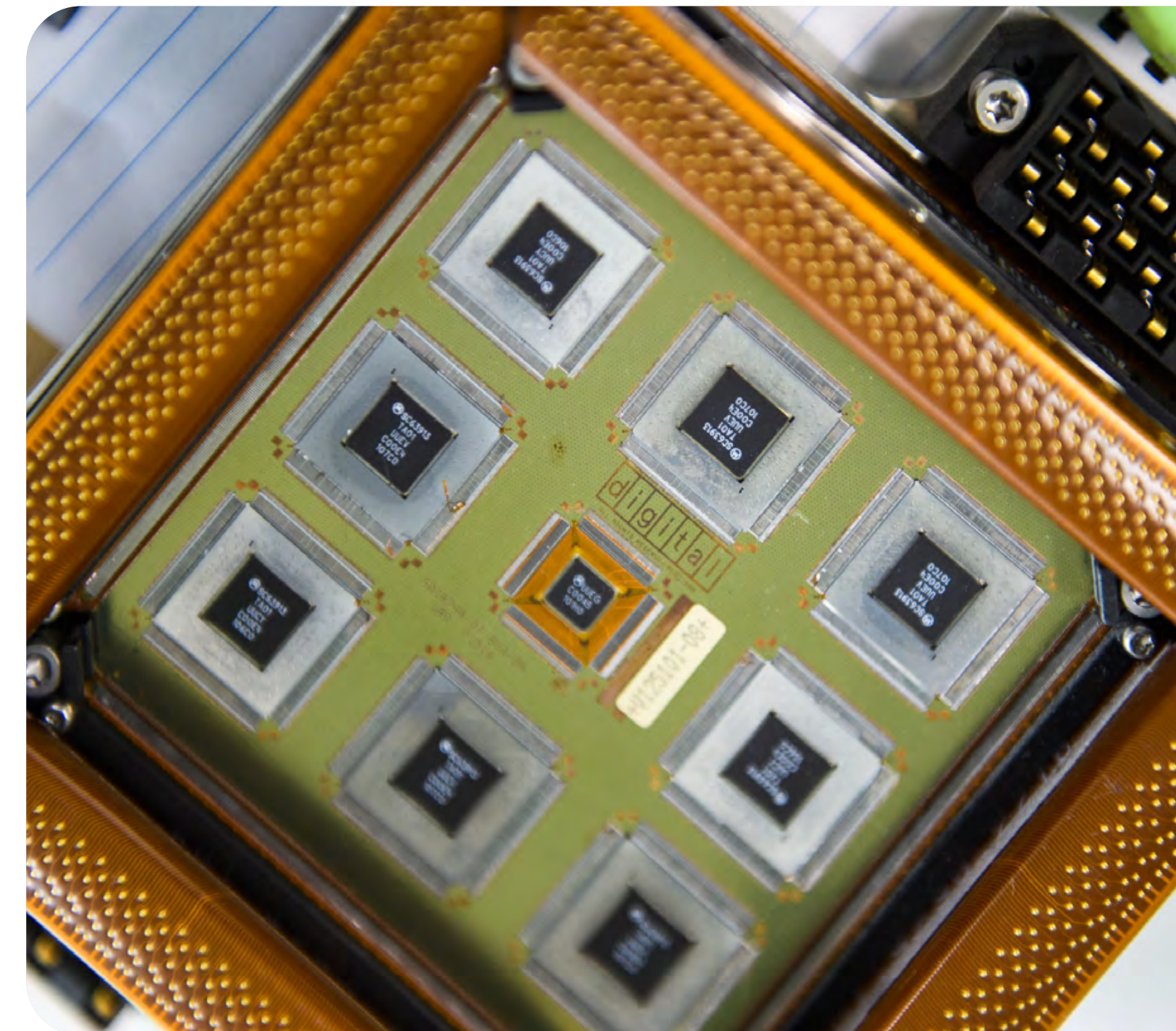
Het ontwerpen van de Europese processor (sipearl.com) [↗](#)

“Tegen 2030 zou 75% van de Europese bedrijven cloud-edge-technologieën moeten gebruiken voor hun activiteiten.”

– Europese Commissie

De volgende Euro HPC-chip komt volgend jaar en zal in 2026 worden gebruikt in het EU-exascale-systeem (hpcwire.com) [↗](#)

SiPearl haalt 90 miljoen euro op bij eerste afsluiting van Serie A voor de lancering van Rhea (eib.org) [↗](#)



IMPACT



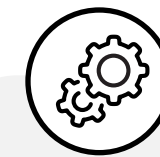
Onderwijs

- Steeds meer instellingen voeren een cloud-first-beleid, waardoor studenten waardevolle praktijkervaring opdoen met cloudinfrastructuur.
- Studenten in cloudcomputing en high-performance computing (HPC) hebben een gevarieerd opleidingsaanbod nodig om te kunnen voldoen aan de stijgende vraag naar schaalbare AI-infrastructuur en om hun weg te vinden in Europese initiatieven op het gebied van digitale soevereiniteit.



Onderzoek

- Toegang tot krachtige on-demand cloudvoorzieningen zal de tijd tot belangrijke wetenschappelijke ontdekkingen en resultaten verkorten.
- Onderzoekers hebben behoefte aan betere ondersteuning en training om hun gebruik van cloudvoorzieningen te optimaliseren. De hyperscalers bieden op maat gemaakte programma's en deskundige hulp, bijvoorbeeld AWS's Open Data en Azure for Research.



Operations

- Datacenters worden gemoderniseerd en federatieve cloudzieningen geïntegreerd om te voldoen aan de toenemende behoefte aan rekenkracht.
- Technische ondersteuning is essentieel om ervoor te zorgen dat cloudvoorzieningen op campussen zonder onderbreking functioneren, door betrouwbare onderhouds- en servicediensten te bieden voor high-performance computing (HPC) en cloudvoorzieningen.



TREND #2

Meer AI-gestuurde hardware in datacenters om workloads in de cloud te beheren

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Gelijkwaardigheid Integriteit Verantwoordelijkheid
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Automatisering en AI; Technologische vooruitgang en computation; Digitale transformatie; Connectiviteit en interactie; Energievoorziening en -vraag; Dienstgerichte en waardegedreven economieën

Om de intensieve workloads te ondersteunen die voor cloudcomputing worden verwacht, investeren cloudproviders en intensieve gebruikers zoals onderzoeksinstellingen fors in gespecialiseerde hardware. Dit gaat verder dan standaard CPU's (waarbij AMD recentelijk Intel heeft ingehaald in het datacentersegment) en omvat ook krachtige accelerators zoals grafische verwerkingseenheden (GPU's), die de werkpaarden zijn voor AI-training en waarbij Nvidia een marktaandeel van 98% heeft in het datacentersegment. Hyperscalers ontwikkelen specifieke hardware zoals AI-chips om hoogwaardige, kostenefficiënte clouddiensten te leveren. Deze hardware-evolutie vereist aanvullende innovaties in de infrastructuur om het intensieve energieverbruik te managen.



SIGNALEN

GPU- en supercomputerupgrades

De LUMI-supercomputer in Finland levert tot 380 petaflops met behulp van groene energie ([csc.fi](#)) 

Nvidia's nieuwe Spectrum-XGS heeft als doel meerdere datacenters om te vormen tot 'één gigantische GPU' ([datacenterdynamics.com](#)) 

“De Blackwell Ultra GPU's van Nvidia hebben samen met de aangepaste accelerators van Google en Amazon ervoor gezorgd dat de markt voor IT-componenten voor datacenters in het tweede kwartaal van 2025 een groei van 44% op jaarbasis heeft gerealiseerd.”

– Rapport van Dell'Oro Group

Aangepaste AI-hardware en efficiëntie

AWS Trainium, Google TPUs en Microsoft FPGA-gebaseerde diensten bieden kosteneffectieve alternatieven ([cloudexpat.com](#)) 

AI-chips stimuleren cloudinnovatie door betere prestaties per dollar ([amd.com](#)) 

Energiebewust gebruik van HPC-systemen in Duitsland ([frontiersin.org](#)) 

Warmte van datacenters omzetten in herbruikbare energie: een doorbraak op het gebied van duurzaamheid ([hpcwire.com](#)) 

IMPACT



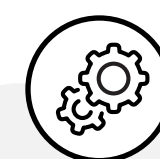
Onderwijs

Studenten moeten kennis maken met geavanceerde computeromgevingen en AI-compatibele hardware. Dit kan worden bereikt door middel van speciale verplichte en keuzevakken/cursussen, maar ook door middel van projecten waarbij het inzetten van nieuwe vormen van computing een vereiste is.



Onderzoek

Dankzij de integratie van geavanceerde AI-training en cloud-diensten krijgen onderzoekers sneller en gemakkelijker toegang tot rekenkracht die voor verschillende disciplines bruikbaar zijn.



Operations

Op het niveau van onderzoeks-instituten en universiteiten draagt gedeelde infrastructuur bij aan kostenbesparingen. Bovendien zal het toepassen van vloeistofkoeling in de computercentra de energie-efficiëntie verhogen en bijdragen aan de duurzaamheid van deze infrastructuur.



TREND #3

Computing dichterbij de bron van data brengen

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid Privacy Keuzevrijheid
	Rechtvaardigheid	Verantwoordelijkheid Integriteit Inclusie
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Connectiviteit en interactie; Technologische vooruitgang en computation; Cybersecurity en vertrouwen; Regelgeving en naleving (compliance); Digitale transformatie

De opkomst van AI, IoT (internet-of-things), edge computing en toekomstige 6G-netwerken zorgt ervoor dat rekenactiviteiten steeds minder plaatsvinden in een puur gecentraliseerd model. Deze architecturale verschuiving houdt in dat gegevensverwerking naar de rand van het netwerk wordt verplaatst om latentie te verminderen, bandbreedte te besparen en privacy te beschermen. In de praktijk betekent dit dat AI-modellen ter plaatse op gespecialiseerde hardware moeten draaien voor realtime edge computing-taken, zoals field robotics (waar een hoge mate van autonomie vereist is) of patiëntmonitoring.

Tegelijkertijd neemt de verwachting en het gebruik toe wat betreft geavanceerde, multimodale workflows die verschillende datatypes zoals tekst, beeld en sensorinformatie combineren. Deze workflows vereisen nieuwe, gedistribueerde architecturen die naadloos edge-apparaten voor gegevens-



verzameling en -verwerking, cloudplatforms voor grootschalige opslag en HPC-backends voor intensieve AI-modeltraining en geavanceerde gegevensanalyse integreren.

SIGNALEN

Edge voor AI met lage latentie

Implementatie van NVIDIA Jetson in field robotics en slimme medische apparaten (industrialautomation.nl) [↗](#)

Het FNS-programma (6G Future Network Services) heeft een AI-native 6G-netwerk ontwikkeld om dynamische edge-cloud-orkestratie mogelijk te maken (tudelft.nl) [↗](#)

Europese Commissie: volgende generatie internet-of-things (digitale-strategie.ec.europa.eu) [↗](#)

“Cloud-edge-integratie stelt organisaties zoals ondernemingen en onderzoeksinstituten in staat om hun IT-infrastructuren te verbeteren met verwerking met lage latentie en realtime besluitvormingsmogelijkheden.”

– Europese Commissie/Technopolis

Multimodale AI-pijplijnen

AI4EU heeft gedistribueerde AI-diensten en federatieve leerplatforms bevordert (ai4europe.eu) [↗](#)

Edge AI wordt gebruikt voor AI-inferentie op apparaten, waarbij cloud/HPC-backends vervolgens worden ingezet voor AI-modeltraining en -coördinatie (sciencedirect.com) [↗](#)

Empowering edge intelligence: een uitgebreid onderzoek naar AI-modellen op apparaten (dl.acm.org) [↗](#)

Onderzoek naar het economische potentieel van far edge computing in het toekomstige slimme internet-of-things (op.europa.eu) [↗](#)

De wereldwijde markt voor edge computing werd in 2024 geschat op 23,65 miljard dollar en zal naar verwachting in 2033 327,79 miljard dollar bereiken, met een samengestelde jaarlijkse groei van 33,0% tussen 2025 en 2033 (grandviewresearch.com) [↗](#)

Hype Cycle voor Edge Computing, 2024 (gartner.com) [↗](#)

Voorlopige marktanalyse van het Europese cloud-, edge- en IoT-continuüm (zenodo.org) [↗](#)

IMPACT



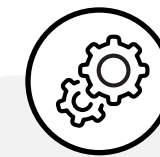
Onderwijs

Zowel studenten als medewerkers moeten kennis maken met edge AI en netwerkgestuurde architecturen. Dit kan worden bereikt door bestaande modules/cursussen te herzien of specifiek studiemateriaal te ontwikkelen.



Onderzoek

Deze verandering in infrastructuur maakt nieuwe experimentele aanpakken in robotica, medische toepassingen en milieumonitoring mogelijk.



Operations

Veranderingen in de architectuur zullen investeringen in IoT, netwerkinfrastructuur en lokale computers stimuleren.



TREND #4

Toenemende behoefte aan geautomatiseerd beheer van cloud- en edgevoorzieningen

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Rekenschap Integriteit Transparantie Gerechtigheid
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Automatisering en AI; Technologische vooruitgang en computation; Digitale transformatie; Dienstgerichte en waardegedreven economieën; Digitale transformatie; Energievoorziening en -vraag

De toename van AI creëert nieuwe paradigma's voor het beheer van cloudvoorzieningen, omdat AI-gestuurde automatisering (AIOps) steeds essentiëler wordt. AI-assistenten worden door cloudproviders ingezet om processen zoals resource provisioning en performance tuning te automatiseren, zodat cloudapplicaties optimaal draaien.

De aanzienlijke energiebehoefte van AI-toepassingen versnelt de adoptie van green computing, waarbij duurzame datacenters en het intelligent inplannen van (reken)taken centraal staan.

Om de onvoorspelbare kosten te beheersen, nemen onderzoeksinstituten FinOps (Financial Operations) in gebruik. Dit is een praktijk van financieel beheer die IT, financiën en onderzoek samenbrengt om de uitgaven voor cloudvoorzieningen te optimaliseren en de waarde ervan te maximaliseren.



SIGNALEN

Cloudautomatisering (AIOps)

AWS en Azure hebben AI-assistenten geïntroduceerd voor infrastructuurgebruik en -monitoring:

AWS AI-assistent voor het versnellen van softwareontwikkeling en het benutten van interne bedrijfsgegevens
(aws.amazon.com) 

Werk overal met Azure AI-beheer en -beveiliging
(techcommunity.microsoft.com) 

“FinOps is zowel een raamwerk als een cultuurpraktijk die de waarde van cloud en technologie optimaliseert, snelle datagedreven beslissingen ondersteunt en financiële verantwoordelijkheid bevordert via samenwerking tussen techniek, financiën en business.”

– FinOps Foundation

FinOps-praktijken worden toegepast om overschrijdingen van het cloudbudget tegen te gaan en het gebruik van cloudvoorzieningen bij te houden

FinOps Foundation (finops.org) 

Cloudstrategie bij de EU: Cloudcomputing
(digitale-strategie.ec.europa.eu) 

Cloud governance omarmen in de context van FinOps
(ijfmr.com) 

IMPACT



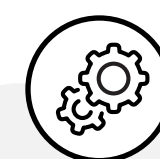
Onderwijs

Wanneer studenten werken met AI-gestuurde cloud- en DevOps-tools, moeten ze specifieke kennis van AIOps, FinOps en duurzame IT ontwikkelen om automatisering, kostenbeheer en milieueffecten goed te kunnen managen.



Onderzoek

De opkomst van AI-gestuurd cloud-beheer en DevOps-praktijken stelt onderzoekers in staat om experimenten te versnellen en workloads efficiënt op te schalen, maar vereist ook meer aandacht voor kostenbeheer, duurzaamheid en interdisciplinaire samenwerking.



Operations

- Deze nieuwe werkwijzen helpen onderzoeks- en onderwijsinstututen om de IT-complexiteit beter te managen en duurzaamheidsdoelen te realiseren.
- Hoewel de integratie van AI-gestuurde cloudtools en DevOps-praktijken de efficiëntie en schaalbaarheid verbetert, moeten mogelijk nieuwe strategieën voor financieel beheer, duurzaamheid en samenwerking tussen afdelingen worden overwogen.



TREND #5

Naar clouddnative diensten en applicatieontwerp voor onderzoek

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Integriteit Transparantie Rekenschap
	Menselijkheid	

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

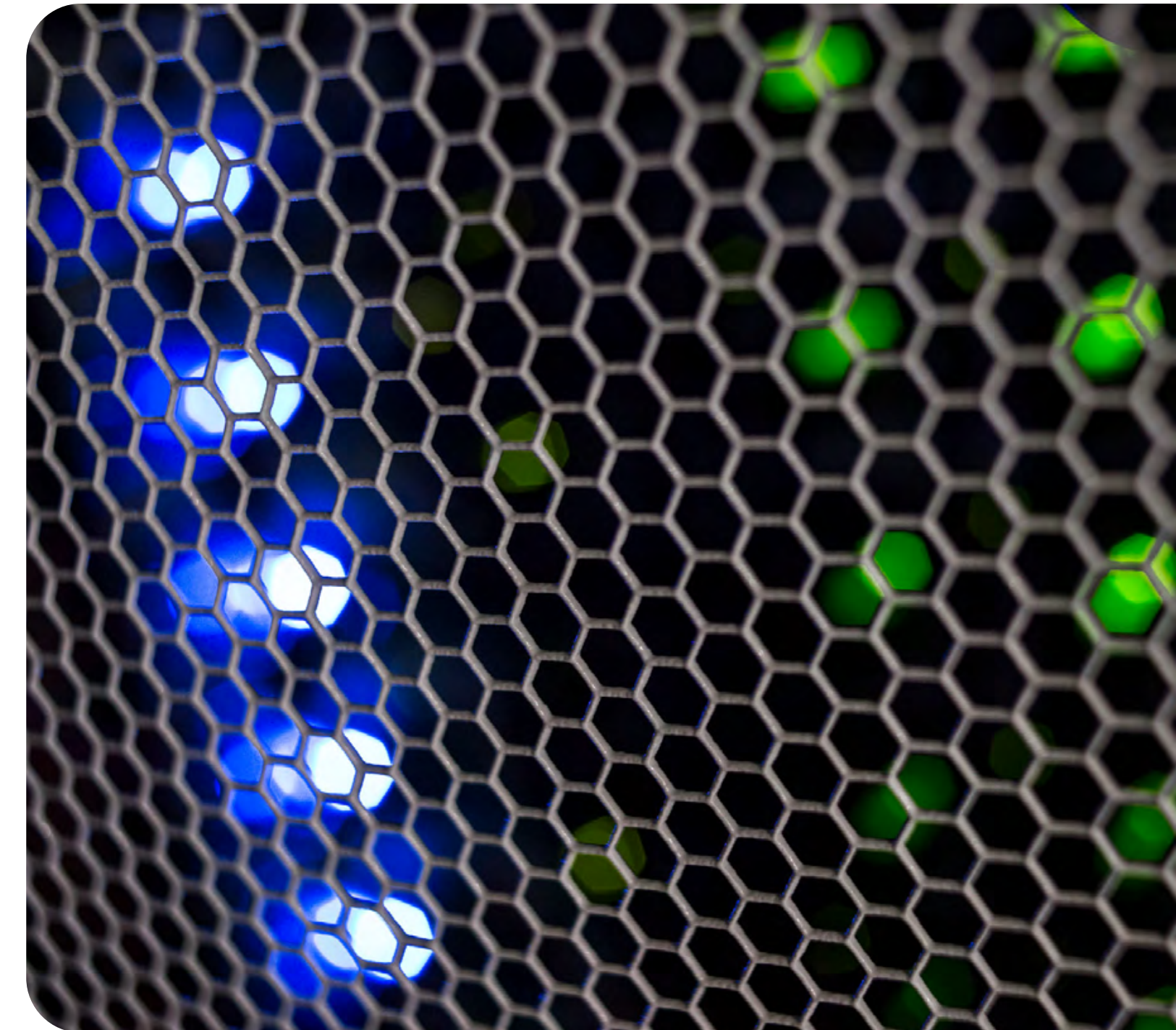
Automatisering en AI; Connectiviteit en interactie; Digitale transformatie; Servicegerichte en waardegedreven economieën; Belang van kennis en vaardigheden

De invoering van cloudtechnologieën verandert de manier waarop onderzoekssoftware wordt ontwikkeld en gebruikt. IT voor het uitvoeren van onderzoek verschuift naar cloud-native ontwikkeling, waarbij applicaties worden gebouwd als schaalbare micro-services en worden gebruikt via application programming interfaces (API's).

Deze aanpak, met de tool Docker voor containerisatie en de tool Kubernetes voor orkestratie van workflows, verhoogt de robuustheid en reproduceerbaarheid van academische software.

Praktijken zoals IaC (infrastructure as code) en CI/CD (continuous integration/continuous delivery) worden de norm en stellen onderzoekers in staat configuraties voor verschillende experimenten te delen, wat de reproduceerbaarheid van de experimenten versterkt. Deze modernisering versnelt niet alleen wetenschappelijke ontdekkingen, maar verbetert ook de levensduur en

herbruikbaarheid van onderzoekssoftware, waardoor deze in lijn komt met standaarden en methoden zoals gebruikt in het bedrijfsleven.



SIGNALEN

Cloud-native ontwerp en tools

Kubernetes, Terraform en GitLab CI/CD worden gebruikt in academische en onderzoeksprojecten:

CERN: petabytes aan gegevens efficiënter verwerken met Kubernetes (kubernetes.io) 

Een grid-site opnieuw ontworpen: het bouwen van een volledig cloud-native ATLAS Tier 2 op Kubernetes (inspirehep.net) 

Het gebruik van infrastructure as code in bedrijven onderhevig aan bepaalde reguleringen (ispe.org) 

“Infrastructure as Code biedt verschillende voordelen voor de reproduceerbaarheid in de informatica. Met IaC kunnen onderzoekers hun infrastructuur nauwkeurig definiëren en beheren in een formaat dat gemakkelijk kan worden opgeslagen, van versies voorzien en gedeeld, waardoor het eenvoudig is om experimenten te reproduceren en bij elke uitvoering dezelfde resultaten te verkrijgen.”

- Frontiers in Computer Science

IMPACT



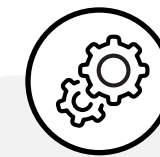
Onderwijs

Cloudtechnologieën in onderzoekssoftware verbeteren het onderwijs door studenten toegang te bieden tot robuuste, reproduceerbare tools die samenwerking en innovatie bevorderen. Door hands-on ervaring met DevOps en cloud-native ontwikkelingen op te doen, kunnen studenten het maximale uit deze mogelijkheden halen.



Onderzoek

De invoering van cloud-native ontwikkelingen ter ondersteuning van FAIR-softwarepraktijken verhoogt de efficiëntie en reproduceerbaarheid van onderzoek aanzienlijk, waardoor wetenschappers experimenten kunnen opschalen, ontdekkingen kunnen versnellen en methodologieën effectiever kunnen delen.



Operations

De implementatie van cloudtechnologieën en microservices in onderzoekssoftware stimuleert multidisciplinaire samenwerking en efficiënte IT-dienstverlening, stroomlijnt de toewijzing van resources en vermindert de tijd voor software-implementatie. Tegelijkertijd vormt een tekort aan vaardigheden een belemmering voor brede adoptie.



Meer informatie over cloudcomputing?

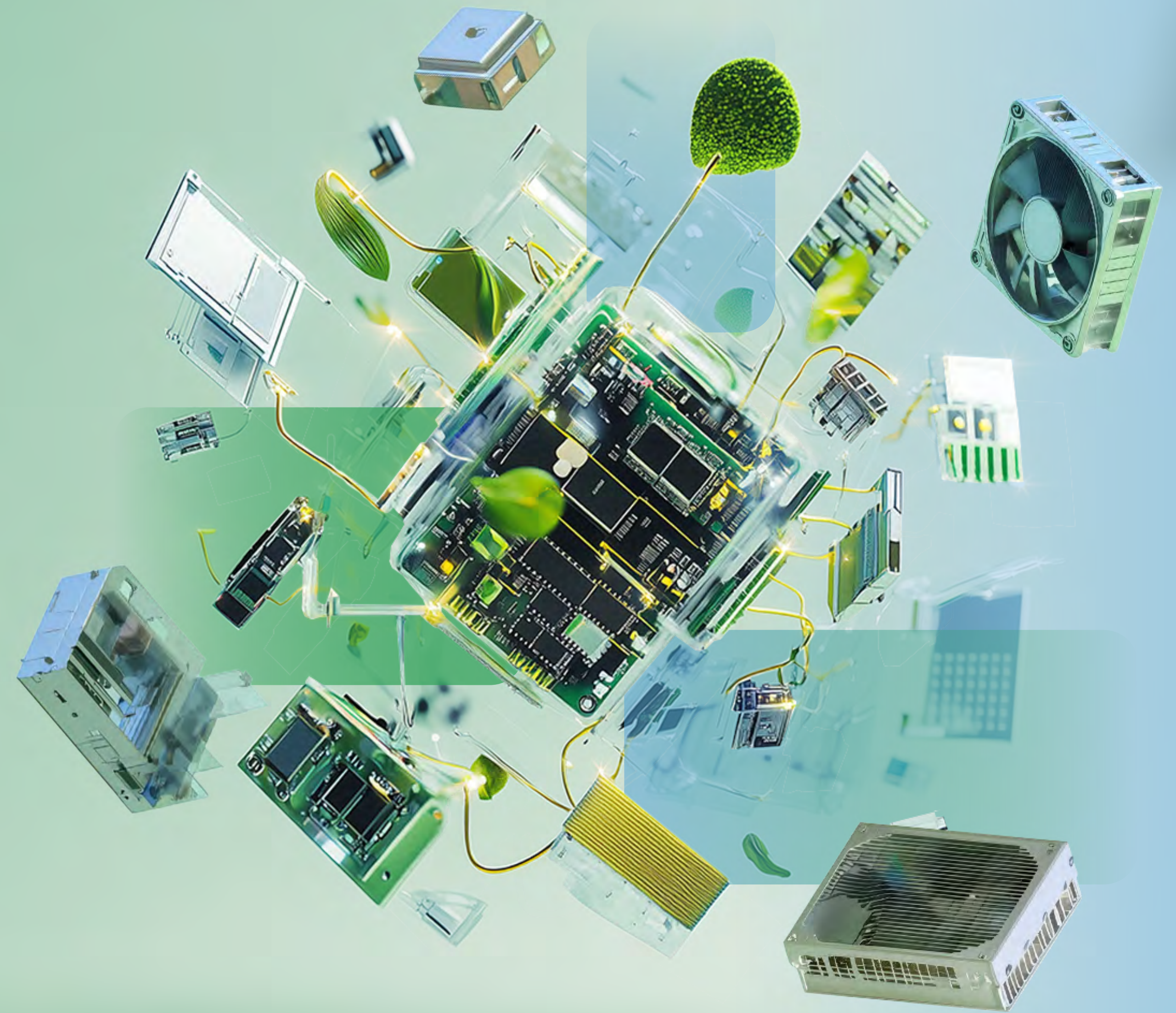
[Bezoek surf.nl](https://surf.nl)

Computing

Auteurs

Irene Bonati (SURF), Sagar Dolas (SURF), Amirreza Yousefzadeh (Universiteit Twente), Guangzhi Tang (Universiteit Maastricht), Francesco Regazzoni (Universiteit van Amsterdam), Johan Mentink (Radboud Universiteit)

1. Toenemende behoefte aan heterogene en hybride computerplatforms
2. Afwegingen in nauwkeurigheid bij approximate computing
3. Steeds meer aandacht voor neuromorphic computing
4. Integratie van fotonica voor versnelde informatieverwerking
5. Het onderzoeken van biologische systemen als basis voor computing



Inleiding

De samenleving vertrouwt steeds meer op geavanceerde rekenkracht om de overgang naar hernieuwbare energiesystemen te ondersteunen, gepersonaliseerde geneeskunde te ontwikkelen, digital twins te gebruiken en de gevolgen van klimaatverandering te voorspellen. Dit houdt in dat gebruik wordt gemaakt van het state-of-the-art digitale infrastructuur-ecosysteem via collaboratieve, verbonden platforms, diensten en producten die bijvoorbeeld analyse en virtuele experimenten mogelijk maken. Zeer krachtige supercomputers (exascale computing) spelen een belangrijke rol bij het verwerken van enorme hoeveelheden data, op een schaal die voorheen onvoorstelbaar was.

Binnen dit landschap bereikt computing een cruciaal punt waarbij de combinatie van data, AI, cloud en met quantumtechnologie-ondersteunde supercomputing een steeds

belangrijkere rol zal spelen in ons vermogen om informatie te verwerken. Deze cruciale verschuiving wordt aangedreven door snelle ontwikkelingen op het gebied van AI, met een sterke toename van de vraag naar rekenkracht die de grenzen van klassieke methoden overschrijdt. Bovendien vertraagt de wet van Moore, nu siliciumtransistors hun fysieke grenzen naderen. Dit stimuleert het onderzoek naar opkomende technologieën en paradigma's, evenals hun impact op computing voor wetenschap, onderzoek en onderwijs.

Tegelijkertijd staan computerfaciliteiten onder druk vanwege de grote energiebehoefte die nodig is voor dataverwerking en infrastructuurkoeling. Dit verlegt de grenzen van traditionele benaderingen en stimuleert inspanningen om te komen tot robuuste en energiezuinigere infrastructuren.



Wereldwijd groeit de aandacht voor geavanceerde computing-ecosystemen als strategische middelen voor wetenschap, innovatie en groei, en wordt er voortdurend gepleit voor de nodige langetermijninvesteringen. Computing, data en digitale infrastructuren krijgen steeds meer erkenning op internationale fora en bieden mogelijkheden voor kennis en duurzame maatschappelijke ontwikkeling. In de Europese Unie, Azië, Afrika, Amerika en andere geopolitieke regio's zijn publieke dialogen gestart en projecten gelanceerd om computerecosystemen te versterken, waarbij ze het belang ervan voor onderzoek, de economie en de samenleving erkennen.

In Nederland publiceerde NWO (Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek), in samenwerking met SURF, een [rapport](#)  waarin de behoeften aan reken-

kracht voor versnelde wetenschappelijke ontdekkingen worden besproken. Naast NWO leggen ook steeds meer onderzoekers en onderzoeksnetwerken de nadruk op het groeiende belang en de toenemende vraag naar geavanceerde computing voor onderzoek in alle disciplines.

Tegelijkertijd heeft IPN (ICT Research Platform Nederland) het belang benadrukt van langetermijn strategische investeringen in Nederland in vergelijking met internationale referenties, met name in het licht van Europa's ambitie op het gebied van digitale soevereiniteit, kennisontwikkeling en economische concurrentiekracht.

Deze ontwikkelingen ontwikkelen zich in samenhang en oefenen invloed uit op technologische innovatie, beleidsvorming,

bedrijfsmodellen en investeringsstromen, met implicaties voor de geopolitieke verhoudingen, de mondiale strijd om talent en de wetenschappelijke en economische impact.

Dit hoofdstuk belicht de belangrijkste technologische transitie in computing en hun mogelijke gevolgen voor de onderzoeks- en onderwijsecosystemen.

Bijdragers

Patty Stabile (TU Eindhoven),
Matthias Möller (TU Delft),
Manolis Sifalakis (Innatera), **Alberto Bosio** (Ecole Centrale de Lyon), **Tom de Greef** (TU Eindhoven)

TREND #1

Toenemende behoefte aan heterogene en hybride computer-platforms

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid Keuzevrijheid Privacy
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Integriteit Rekenschap Gelijkwaardigheid
	Menselijkheid	

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Bestuurders

Technologische vooruitgang en computation;
Digitale transformatie; Energievoorziening en -vraag

De eisen die moderne toepassingen stellen, vormen een fundamentele uitdaging voor klassieke computingparadigma's. Grootschalige computingomgevingen ontwikkelen zich steeds meer tot modulaire systemen, waarin diverse gespecialiseerde technologieën, zoals hybride quantum-systemen, cloudplatforms, ASIC's, GPU's, edge- en IoT-apparaten en opslagvoorzieningen, worden samengebracht om de uitvoering van complexe digitale processen mogelijk te maken.

De vertraging van de wet van Moore, in combinatie met de toenemende eisen van AI-gedreven ontwerp, maakt gespecialiseerde oplossingen noodzakelijk om de prestaties en resultaten te verbeteren. Hoewel het landschap nog versnipperd is, worden tools die orkestratie over heterogene omgevingen mogelijk maken steeds breder toegepast en waardevoller binnen de mainstream wetenschappelijke computing.



Wij voorzien dat de komende decennia veel innovatie zal plaatsvinden in de software-lagen van de digitale-infrastructuurstack.

SIGNALEN

Hyperscale cloudbedrijven ontwerpen aangepaste versnellers

AWS lanceert de tweede generatie Trainium2- en Inferentia3-chips om de kosten voor AI-training te verlagen (semianalyse.com) [🔗](#)

Microsoft Azure introduceert de Maia 100 AI-versneller en Athena CPU voor zijn datacenters (semianalyse.com) [🔗](#)

Consumentensystemen-op-een-chip integreren CPU + GPU + NPU

De M3 Ultra van Apple beschikt over 32 CPU-kernen, 80 GPU-kernen en een verbeterde Neural Processor Engine (apple.com) [🔗](#)

Qualcomm Snapdragon X Elite voor Copilot+ pc's wordt geleverd met een 45 TOPS NPU (qualcomm.com) [🔗](#)

Convergerende software-ecosystemen

Intel oneAPI 2024 LTS verenigt compilers voor CPU-, GPU- en FPGA-doelen (intel.com) [🔗](#)

Khronos brengt SYCL Rev 9 uit met back-ends voor CUDA, HIP en oneAPI (khronos.org) [🔗](#)

“De klassieke computingaanpak, waarbij programmaflow-simulaties worden gebruikt om verschillende functies te modelleren, is achterhaald geraakt, en de opkomst van AI- en datagedreven methoden heeft de tekortkomingen van de klassieke benadering verder blootgelegd.”

- Manolis Sifalakis, Innatera

Opkomst van AI-gestuurd ontwerp

AI-specifieke grootschalige computersystemen komen op de markt om de efficiëntie te verbeteren en de kosten te verlagen in vergelijking met GPU's.

- Cerebras begint tussen 2024 en 2025 met de bouw van zes datacenters met zijn AI-hardware op wafer-schaal in Noord-Amerika en Europa (cerebras.ai) [🔗](#)
- Meta introduceert in 2024 een nieuwe generatie AI-infrastructuur met op maat gemaakte AI-hardware (about.fb.com) [🔗](#)
- Tesla's wafer-scale Dojo AI-hardware is in productie om grootschalige training voor autonoom rijden in 2024 te ondersteunen (tomshardware.com) [🔗](#)

AI-specifieke hardware met opkomende technologieën begint over te stappen van de academische wereld naar de industrie.

- SpiNNcloud introduceert eind 2024 de eerste commerciële neuromorfische AI HPC met behulp van digitale neuromorfische technologie die is ontwikkeld in het Human Brain Project (theregister.com) [🔗](#)
- In-memory computing-technologie begint vorm te krijgen in AI-hardwareproducten met start-ups zoals Synthara en Axelera AI (synthara.ai) [🔗](#)
- Innatera haalt 21 miljoen dollar aan investeringen binnen met het plan om analoge neuromorfische AI tegen 2030 naar 1 miljard apparaten te brengen (unite.ai) [🔗](#)

IMPACT



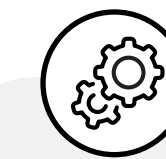
Onderwijs

Curricula zullen waarschijnlijk steeds vaker gespecialiseerde hardwareconcepten integreren naast conventionele architecturen. Studenten zullen daarom waarschijnlijk meer gaan werken met verschillende accelerators die zijn toegespitst op bepaalde taken in cloudlabomgevingen. Tijdens colleges, labs en projecten zullen studenten worden getraind in het inzetten en optimaliseren van workloads op gespecialiseerde accelerators. Deze verschuiving zal er waarschijnlijk toe leiden dat academische programma's zich verder zullen ontwikkelen dan basisprogramma's voor programmeren, naar meer geavanceerde parallelle en heterogene computerparadigma's. Als gevolg hiervan zullen curricula steeds vaker modellen zoals CUDA, HIP, SYCL of OpenCL moeten opnemen.



Onderzoek

Wetenschappelijke toepassingen zullen waarschijnlijk vaker op heterogene systemen draaien, zoals 'GPU for dense linear algebra, FPGA for bit-level genomics, or neural processing unit (NPU) for inference' binnen één clustertaak. Dit verkort iteratiecycli, maakt grotere parametersweeps mogelijk en verlaagt het energieverbruik. Hardware-software co-design zal een vruchtbare bodem worden, die inspiratie biedt voor resource-efficiënte algoritmen en snelle innovatie in chiparchitecturen stimuleert. Nieuwe scheduleringsmechanismen en heterogeniteitsondersteunende middleware voor campus-HPC-centra zijn daarom noodzakelijk.



Operations

Operationele teams moeten mogelijk ontwerpen beoordelen waarin verschillende componenten worden gecombineerd, terwijl ze een evenwicht moeten vinden tussen energie- en koelingsbehoeften. Bovendien moeten de indeling van de faciliteiten, de monitoringtools en de vaardigheden van het ondersteunend personeel worden aangepast om racks met een gemengde architectuur en de snel evoluerende generaties accelerators efficiënt te kunnen beheren.

TREND #2

Afwegingen in nauwkeurigheid bij approximate computing

Publieke waarden

	Autonomie	
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Rekenschap Gelijkwaardigheid
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Energievoorziening en -vraag; Automatisering en AI;
Technologische vooruitgang en computation

Er zijn computerapplicaties die geen hoge (rekenkundige) nauwkeurigheid en precisie vereisen, of die werken met informatie die al onzekerheid bevat. Toepassingen zoals neurale netwerken, signaalverwerking en lokalisatie- en mappingtechnieken hebben vaak geen exacte uitkomst nodig; een benaderend resultaat volstaat om zowel de functionele vereisten als de ontwerpeisen van de computerarchitectuur te halen.

Ontwerpeisen kunnen worden afgewogen, bijvoorbeeld op het gebied van prestaties, vermogen en energie-efficiëntie. Beschikbare technieken voor approximate computing omvatten quantisatie, afronding, truncatie en reductie van het aantal bits.

Approximate computing kan worden gerealiseerd op softwareniveau met gespecialiseerde algoritmen, op hardwareniveau met approximate hardware, of door een combinatie van beide. Approximate computing wint aan terrein, wat resulteert in bewuste afwegingen tussen nauwkeurigheid en andere computationele doelen.



SIGNALEN

Vermindering van het energieverbruik met behulp van het approximate computing-paradigma

Wetenschappelijk onderzoek (ieeexplore.ieee.org) [↗](#) en projecten (textarossa.eu) [↗](#) hebben aangetoond dat op approximate computing-gebaseerde accelerators het energieverbruik kunnen verminderen

Er is onderzoek gedaan naar gezamenlijke benaderingen voor verschillende subsystemen om de energie-efficiëntie van slimme camerasystemen te verbeteren (ieeexplore.ieee.org) [↗](#)

Approximatie gebruikt in combinatie met Dynamic Voltage Scaling

Dynamische foutdetectie en -correctie wordt gebruikt voor Dynamic Voltage Scaling in ARM Razor, dat de voedingsspanning afstemt door de foutfrequentie tijdens het gebruik te monitoren (documentation-service.arm.com) [↗](#)

Agressieve spanningsverlaging kan worden gebruikt in krachtige DNN-accelerators, terwijl de vereiste classificatienauwkeurigheid behouden blijft (ieeexplore.ieee.org) [↗](#)

AI-accelerators met approximate computing

IBM integreert approximate computing in AI-accelerators (research.ibm.com) [↗](#)

Er zijn approximate DRAM-apparaten gebruikt om het energieverbruik en de evaluatielatentie van DNN te verminderen (arxiv.org) [↗](#)

“Approximate computing kan de energie- en rekenkosten van verschillende toepassingen aanzienlijk verminderen, waaronder machine learning, videoverwerking en data-analyse.”

- Alberto Bosio, Universiteit van Lyon

IMPACT



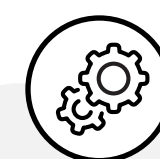
Onderwijs

Het vakgebied computerwetenschappen is grotendeels gebaseerd op determinisme en exacte berekeningen. Studenten moeten worden getraind om te werken met benaderende en niet 'exact correcte' resultaten. Concepten als error management en berekeningsnauwkeurigheid binnen bekende grenzen zullen waarschijnlijk zowel in theorie als in praktijksessies aan bod komen.



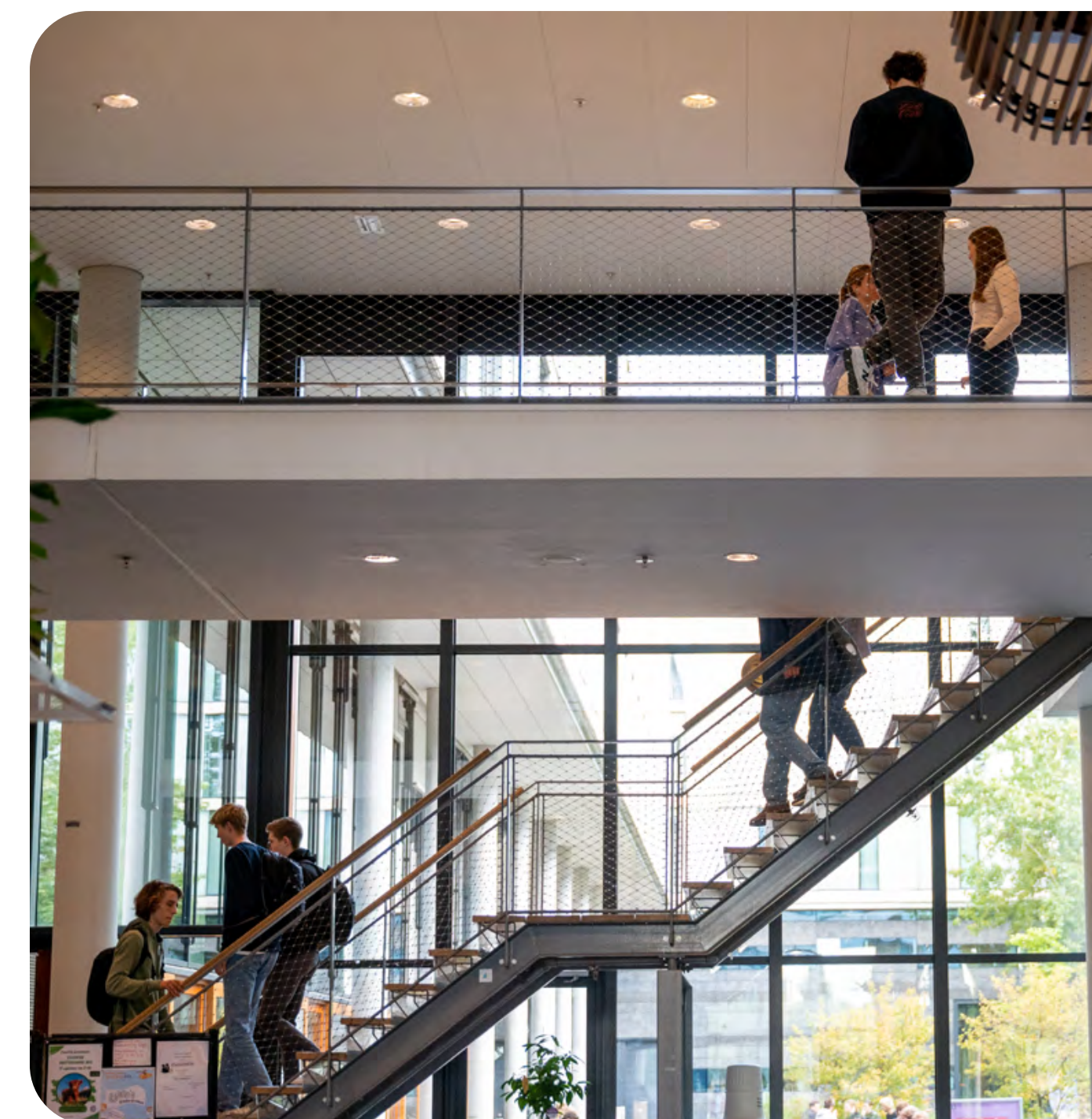
Onderzoek

Het paradigma van approximate computing is redelijk volwassen. Optimalisatie op basis van approximate computing kan voordelig zijn voor specifieke toepassingen, zoals neurale netwerken, en kan de prestaties van verschillende onderzoeksgebieden, zoals de medische wetenschappen, verbeteren.



Operations

Over het algemeen vereist het gebruik van approximate software routines geen update van de IT-infrastructuur. Het gebruik van approximate hardware kan grotere voordelen opleveren, maar de vereiste veranderingen aan de infrastructuur moeten worden afgewogen tegen het resulterende voordeel. Een dergelijke evaluatie moet per geval afzonderlijk worden uitgevoerd.



TREND #3

Steeds meer aandacht voor neuromorphic computing

Publieke waarden

	Autonomie	
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Gelijkwaardigheid Rekenschap Integriteit
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Automatisering en AI; Technologische vooruitgang en computation; Energievoorziening en -vraag; Schaarste aan grondstoffen; Vraag naar schoon water; Kritieke infrastructuur

Neuromorphic computing is een computing-paradigma gebaseerd op de werking van het menselijke brein. Net zoals het brein informatie tegelijkertijd verwerkt en opslaat, integreren neuromorfe systemen opslag en verwerking in één component, wat leidt tot een significante vermindering van het energieverbruik voor datatransmissie. Hierdoor kan informatie efficiënter en sneller worden verwerkt, en kunnen complexe taken zoals patroonherkenning soepeler worden uitgevoerd. Het systeem is bovendien energiezuiniger dan conventionele digitale architecturen.

De ontwikkelingen in neuromorphic computing komen op het juiste moment, aangezien moderne datacenters enorme hoeveelheden energie verbruiken. Het gebruik van neuromorfe processors in datacenters kan de energiebehoefte voor AI-verwerking drastisch verlagen, mogelijk tot een factor 1000.



SIGNALEN

Potentieel om het energieverbruik voor AI-verwerking met een factor 10 tot 1000 te verlagen.

Nederland zet in op door het brein geïnspireerde computers voor een groenere toekomst (computerweekly.com) [↗](#)

Kösters et al. (2023). **Benchmarking van energieverbruik en latentie voor neuromorfisch computergebruik in de vaste-stof- en deeltjesfysica**, APL Machine Learning 1, pp. 16-101 (arxiv.org) [↗](#)

Intel bouwt 's werelds grootste neuromorfische systeem voor duurzamere AI (newsroom.intel.com) [↗](#)

Whitepaper Neuromorphic computing (2024) roept op tot de ontwikkeling van een open ecosysteem en verbeterde coördinatie in Nederland (ru.nl) [↗](#)

Startups die neuromorfische computers commercialiseren

- axelera.ai [↗](#)
- innatera.com [↗](#)
- **Hoursec** (ja-delft.com) [↗](#)
- imchip.ai [↗](#)
- cimplic.com [↗](#)

Neuromorfische supercomputers

- spinncloud.com [↗](#)
- **DeepSouth** (westernsydney.edu.au) [↗](#)
- **Darwin Monkey** (globaltimes.cn) [↗](#)

IMPACT



Onderwijs

Verschillende universiteiten in Nederland breiden hun onderwijsprogramma's al uit met neuromorphic computing & engineering en verdiepen de fundamentele kennis om de volgende generatie leiders op te leiden. Bovendien heeft neuromorphic computing dankzij zijn energie-efficiëntie het potentieel om AI-gebaseerde innovaties, zoals gepersonaliseerde onderwijsrobots, lokaal beschikbaar te maken in de klas.



Onderzoek

In 2024 maakten neuromorfische supercomputers hun debuut in HPC ([Spinnaker 2](#) [↗](#) (Duitsland), [Intel's Hala-point](#) [↗](#) (VS), [DeepSouth](#) (Australië), [Darwin Monkey](#) [↗](#) (China)), waarmee ze meer dan een miljard kunstmatige neuronen bereikten. Het vermogen om te begrijpen welke toepassingen het meest profiteren van welke neuromorfische hardware is nog grotendeels onbekend, waardoor er behoefte is aan uitgebreide benchmarking. Bovendien werken de huidige neuromorfische systemen nog steeds ver boven de energie-efficiëntie van het menselijk brein, waardoor fundamentele ontdekkingen nodig zijn om even efficiënt en functioneel te kunnen rekenen als het menselijk brein.



TREND #4

Integratie van fotonica voor versnelde informatieverwerking

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Gelijkwaardigheid
	Menselijkheid	Veiligheid Welzijn

Volwassenheid

- WATCH
- PLAN
- ACT

Drivers

Automatisering en AI; Technologische vooruitgang en computation; Energievoorziening en -vraag; Vraag naar schoon water; Kritieke infrastructuur

Fotonica speelt al een cruciale rol in de internetkabels die wereldwijd gegevens transporteren en dient als fundamentele technologie voor gegevensoverdracht binnen datacenters.

De laatste tijd heeft fotonica veel aandacht gekregen voor computertoepassingen. Dezelfde principes die voordelen bieden voor communicatie – lage latentie, energie-efficiëntie en de mogelijkheid om gegevens direct te verwerken – worden nu onderzocht om de beperkingen van elektronische computers (zoals energie-verbruik, latentie en bandbreedte) te overwinnen. Dit zal voordelen opleveren voor toepassingen zoals de versnelling van neurale netwerken, datacenterworkloads en edge AI.



SIGNALEN

Geïntegreerd gebruik van fotonica in datacenters

Geïntegreerde fotonica vindt geleidelijk zijn weg naar de wereld van supercomputers (marvell.com) [↗](#)

Grootschalige matrixvermenigvuldiging uitvoeren met een energievoordeel van $O(1000\times)$

In tegenstelling tot elektronica kunnen fotonische systemen op natuurlijke wijze gebruikmaken van parallelisme, waardoor ze zeer geschikt zijn voor realtime verwerking op grote schaal (arxiv.org) [↗](#)

LUMAI biedt een veelbelovende vooruitgang op het gebied van AI-accelerators (lumai.ai) [↗](#)

Fotonica in de kennis- en innovatieagenda voor sleuteltechnologieën

(kia-st.nl) [↗](#)

“De enorme parallelle verwerkingscapaciteit die fotonica biedt, waarbij elke straal in de ruimte een afzonderlijke berekening vertegenwoordigt, kan richting geven aan de ontwikkeling van computing.” - Patty Stabile, TU Eindhoven

IMPACT



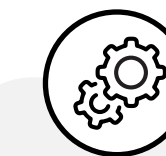
Onderwijs

Als optical computing zich blijft ontwikkelen als basistechnologie voor gegevensverwerking en communicatie, zal het onderwijs zich onvermijdelijk moeten aanpassen. De traditionele focus op elektronica-gebaseerde computing in technische opleidingen zal niet langer voldoende zijn om studenten voor te bereiden op de hybride elektronische en fotonische systemen van de toekomst. Bij instellingen zoals de TU Eindhoven, waar al een keuzevak over optical computing is geïntroduceerd, is deze ontwikkeling al in gang gezet. Hoewel deze vakken nog steeds optioneel zijn, vormen ze een stap wat betreft de integratie van fotonica in het bredere informatica-curriculum.



Onderzoek

De integratie van optische computers in digitale infrastructuur belooft aanzienlijke verbeteringen op het gebied van onderzoeksmogelijkheden, waardoor de kwaliteit van infrastructuur, computational tools en rekenkracht wordt verbeterd. Optische systemen kunnen snellere, energiezuinigere datacenters en clusters mogelijk maken, die van vitaal belang zijn voor data-intensieve gebieden zoals klimaatwetenschap, genetica, deeltjesfysica en AI. Een hybride elektronisch-fotonische aanpak verbetert de simulatieprestaties en energie-efficiëntie, waardoor onderzoekers moeilijke uitdagingen kunnen aanpakken, zoals hersensimulaties met hoge resolutie of chemische modellering.



Operations

Door fotonica te integreren kan de efficiëntie van datacenteroperaties toenemen, wat bijdraagt aan duurzaamheid. Optische componenten verbruiken minder energie, produceren minder warmte en verminderen de behoefte aan koeling, wat leidt tot lagere kosten en een hogere werkbelastingsdichtheid. Bovendien kan de afname van de energiebehoefte leiden tot minder belasting van lokale of regionale elektriciteitsnetwerken.

TREND #5

Het onderzoeken van biologische systemen als basis voor computing

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Integriteit Duurzaamheid Gelijkwaardigheid
	Menselijkheid	Welzijn Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

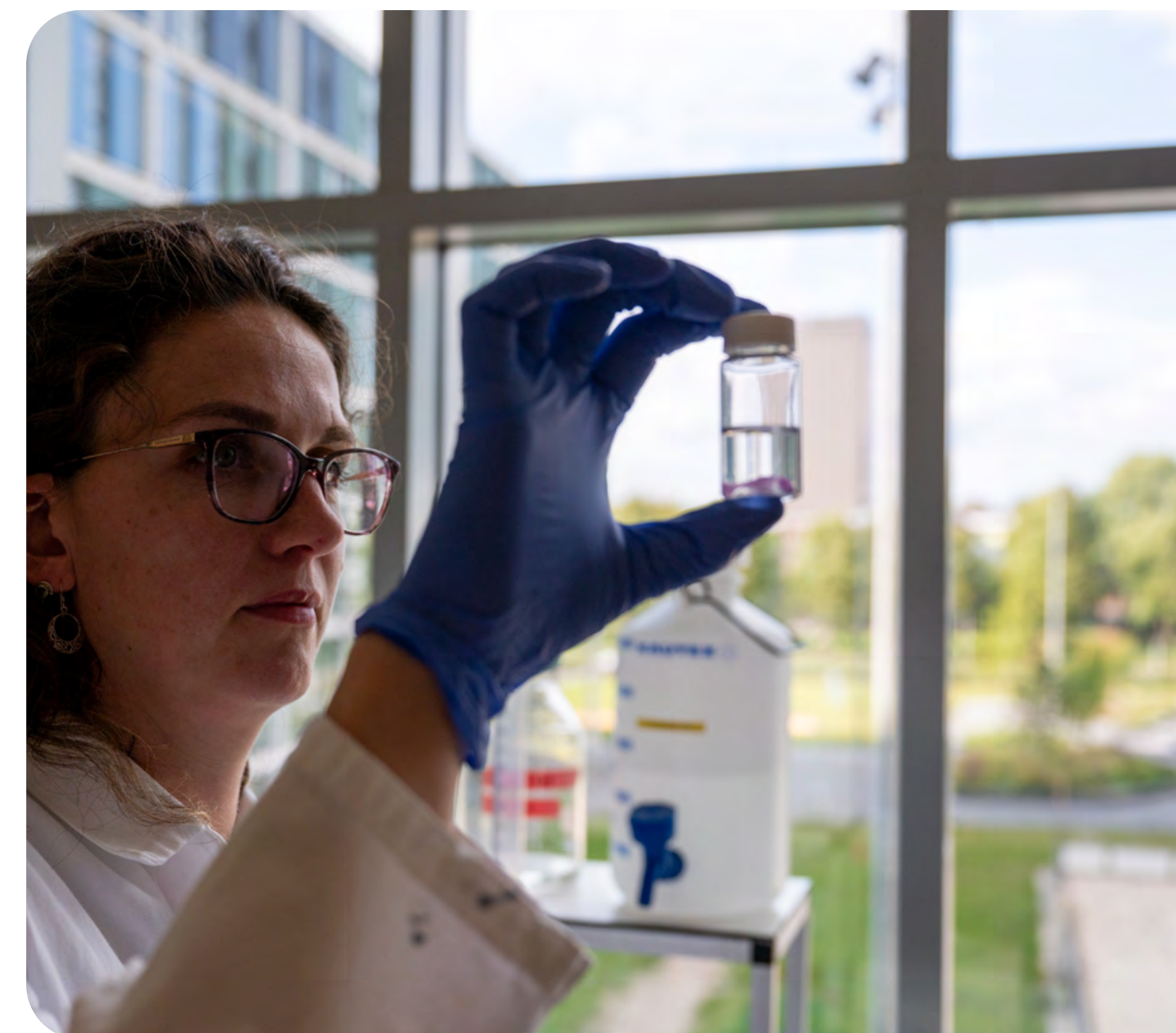
Drivers

Technologische vooruitgang en computation; Biotechnologie; Automatisering en AI; Energievoorziening en -vraag

Levende materie kan computationele taken uitvoeren. Recent is er een groeiende belangstelling voor de informatieverwerking die biologische materialen van nature uitvoeren, met als doel deze te benutten als basis voor computingarchitecturen.

Biocomputing gebruikt biologische elementen, waaronder DNA, eiwitten en cellen, om informatie te verwerken zoals een conventionele computer, maar op een moleculair niveau. Deze aanpak opent een innovatieve manier om data te coderen en verwerken, met enkele verbeteringen ten opzichte van klassieke architecturen, zoals parallelle verwerking en hogere energie-efficiëntie.

Biocomputing blijft een experimenteel onderzoeksgebied, met uitdagingen zoals beperkingen in snelheid en schaalbaarheid. Desondanks wordt verwacht dat dit onderzoek zich zal voortzetten, en dat biocomputing in de komende decennia dichterbij real-world toepassingen komt, vooral in de gezondheidszorg.



SIGNALEN

Vroege commercialisering door bedrijven

Het bedrijf FinalSpark biedt cloud-toegankelijke computer-diensten aan met behulp van echte organoïden via een platform (Neuroplatform) (finalspark.com) [↗](#)

De start-up Cortical Labs heeft een biologische computer gelanceerd die is gemaakt van menselijke hersencellen (abc.net.au) [↗](#)

“Veelbelovende toepassingen van biomoleculaire computing liggen in de gezondheidszorg. Aangezien biomoleculaire computers moleculaire gegevens verwerken, kunnen ze bijvoorbeeld biomarkerprofielen analyseren en vaststellen of een ziekte aanwezig is. [...] Het belangrijkste knelpunt is dat de verwerkingssnelheid momenteel zeer beperkt is, zelfs als de berekeningen op zeer grote schaal parallel kunnen worden uitgevoerd.”

- Tom de Greef, Technische Universiteit Eindhoven

R&D-mijlpalen in het aanpassen van biologische processen om computationele routines uit te voeren

Synthetische biologie gebruikt om genetische circuits te bouwen, vergelijkbaar met logische circuits in conventionele computers (nieuws.mit.edu) [↗](#)

Onderzoekers hebben een softwarepakket ontwikkeld dat het ontwerpen van digitale logische schakelingen in moleculaire computers vergemakkelijkt (dl.acm.org) [↗](#)

Onderzoekers hebben een stam van E. coli genetisch gemodificeerd voor berekeningen (nature.com) [↗](#)

Onderzoekers schetsten een visie voor biocomputers die worden aangedreven door menselijke hersencellen en presenteerden een routekaart voor organoïde intelligentie (frontiersin.org) [↗](#)

Een biocomputersysteem gemaakt van levende menselijke hersencellen voerde spraakherkenning uit op basis van audiofragmenten (nature.com) [↗](#)

Onderzoekers hebben herhaalde gegevensbewerkingen (opslaan, ophalen, berekenen, wissen en herschrijven) uitgevoerd met behulp van DNA (nature.com) [↗](#)

Onderzoekers ontwierpen de eerste programmeerbare DNA-computer (nature.com) [↗](#)

IMPACT



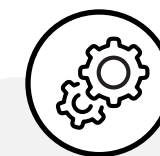
Onderwijs

Er zal waarschijnlijk steeds meer vraag zijn naar interdisciplinair talent dat zowel bedreven is in computerwetenschappen als in biologie. Dit vereist de ontwikkeling van nieuwe of de uitbreiding van bestaande curricula voor studenten in wetenschappelijke disciplines die baat hebben bij biocomputing, zodat zij deze hybride vaardigheden kunnen verwerven. Computers die gebruikmaken van biologische circuits kunnen ook in opkomst komen als praktische leermiddelen om de principes van biocomputing te illustreren.



Onderzoek

Zodra de huidige efficiëntie- en schaalbaarheidsproblemen zijn opgelost, kunnen onderzoekers mogelijk toegang krijgen tot lokale en/of nationale IT-infrastructuur die werkt volgens de principes van biocomputing. Dit zal gunstig zijn voor een verscheidenheid aan use cases voor onderzoek in verschillende wetenschappelijke gebieden, zoals het ontdekken van geneesmiddelen, het diagnosticeren van ziekten en ecologie.



Operations

De adoptie van biocomputing kan leiden tot de noodzaak van upgrades van IT-infrastructuur en vereist dat onderzoeks- of ondersteunende organisaties hun operationele procedures herzien voor het beheer van biocomputers. Het vergt medewerkers met expertise in biologische systemen en/of het inschakelen van externe organisaties die ervaring hebben met biocomputers.



Meer informatie over computing?

[Bezoek surf.nl](https://surf.nl)

Connectiviteit

Auteurs

Rogier van de Wetering (Open Universiteit), Mike Klaassen
(Hogeschool Breda), Frans Panken (SURF), Peter Boers (SURF)

1. Vaste draadloze netwerktoegang

2. De strijd om de ether

3. AIOps, digital twinning en de opkomst van LLM's in netwerkoperaties

4. Energieverbruik en ecologische voetafdruk

5. Glasvezelnetwerken: strategische infrastructuur voor de kenniseconomie



Inleiding

In de snel evoluerende digitale wereld van vandaag vormt connectiviteit de essentiële basis voor innovatie, productiviteit en maatschappelijke vooruitgang. Naarmate de vraag naar realtime gegevens, diensten met lage latentie en altijd actieve toegang blijft toenemen, ondergaan de netwerken die ons digitale leven ondersteunen een ingrijpende transformatie. Connectiviteit gaat niet langer alleen over online zijn, maar ook over de kwaliteit, intelligentie en soevereiniteit van de verbindingen tussen onze huizen, steden, bedrijven en overheden.

Dit hoofdstuk behandelt drie belangrijke aspecten van de huidige transformatie op het gebied van connectiviteit: toegangsnetwerken, intelligente netwerken en het toenemende belang van digitale autonomie in een geopolitiek gefragmenteerde wereld.

De reis naar connectiviteit begint aan de rand van de netwerken, met de toegangsnetwerken. Deze toegangspunten vormen de cruciale 'last mile' tussen gebruikers en het bredere internet. Draadloze technologieën zoals wifi, Bluetooth, Zigbee en mobiele netwerken (4G, 5G) zijn essentiële enablers van moderne digitale omgevingen, van slimme campussen tot industriële IoT-implementaties. In combinatie met wereldwijde glasvezelinfrastructuur maken deze draadloze protocollen naadloze end-to-end datapaden mogelijk die fundamenteel zijn voor schaalbare en veilige digitale ecosystemen. Door deze netwerken op wereldwijde schaal te harmoniseren, wordt niet alleen efficiëntie en interoperabiliteit gegarandeerd, maar worden ook nieuwe mogelijkheden voor innovatie en inclusiviteit in alle regio's gecreëerd.

Connectiviteit gaat tegenwoordig verder dan enkel netwerktoegang en wordt gedreven door intelligentie. Intelligente netwerken veranderen de manier waarop operators hun infrastructuren beheren, optimaliseren en ontwikkelen. De verschuiving van handmatige processen naar softwaregestuurde orkestratie maakt meer automatisering, realtime analyses en responsiviteit mogelijk om in te spelen op dynamische gebruikersbehoeften. AI-aangedreven operations (AIOps), digital twins voor netwerksimulatie en integratie met cloud-native omgevingen zijn nu cruciaal voor het beheer van de toenemende complexiteit van digitale diensten. Deze intelligente netwerken helpen ook bij het aanpakken van ecologische uitdagingen door energie-efficiëntie in zowel hardware als software in te bouwen, waardoor duurzame schaalvergroting mogelijk wordt.

Ten slotte neemt het strategische belang van connectiviteit toe op het gebied van digitale autonomie. Nu wereldwijde spanningen allianties en toeleveringsketens hervormen, haasten landen zich om controle te krijgen over hun digitale infrastructuur. Investeren in onderzeese kabels, glasvezel, satelliet-systemen en alternatieve dataroutes weerspiegelen een bredere behoefte aan continuïteit en veerkracht. Tegelijkertijd roept de dominantie van big tech in wereldwijde datastromen complexe vragen op rond soevereiniteit en cyberveiligheid. De toekomst van ons digitale connectiviteitslandschap zal worden gevormd door de convergentie van overal beschikbare toegang, intelligent netwerkbeheer en robuuste connectiviteit.

TREND #1

Vaste draadloze netwerktoegang

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Onafhankelijkheid Privacy
	Rechtvaardigheid	Eerlijkheid Inclusie Integriteit Duurzaamheid
	Menselijkheid	Welzijn

Volwassenheid

WATCH

PLAN

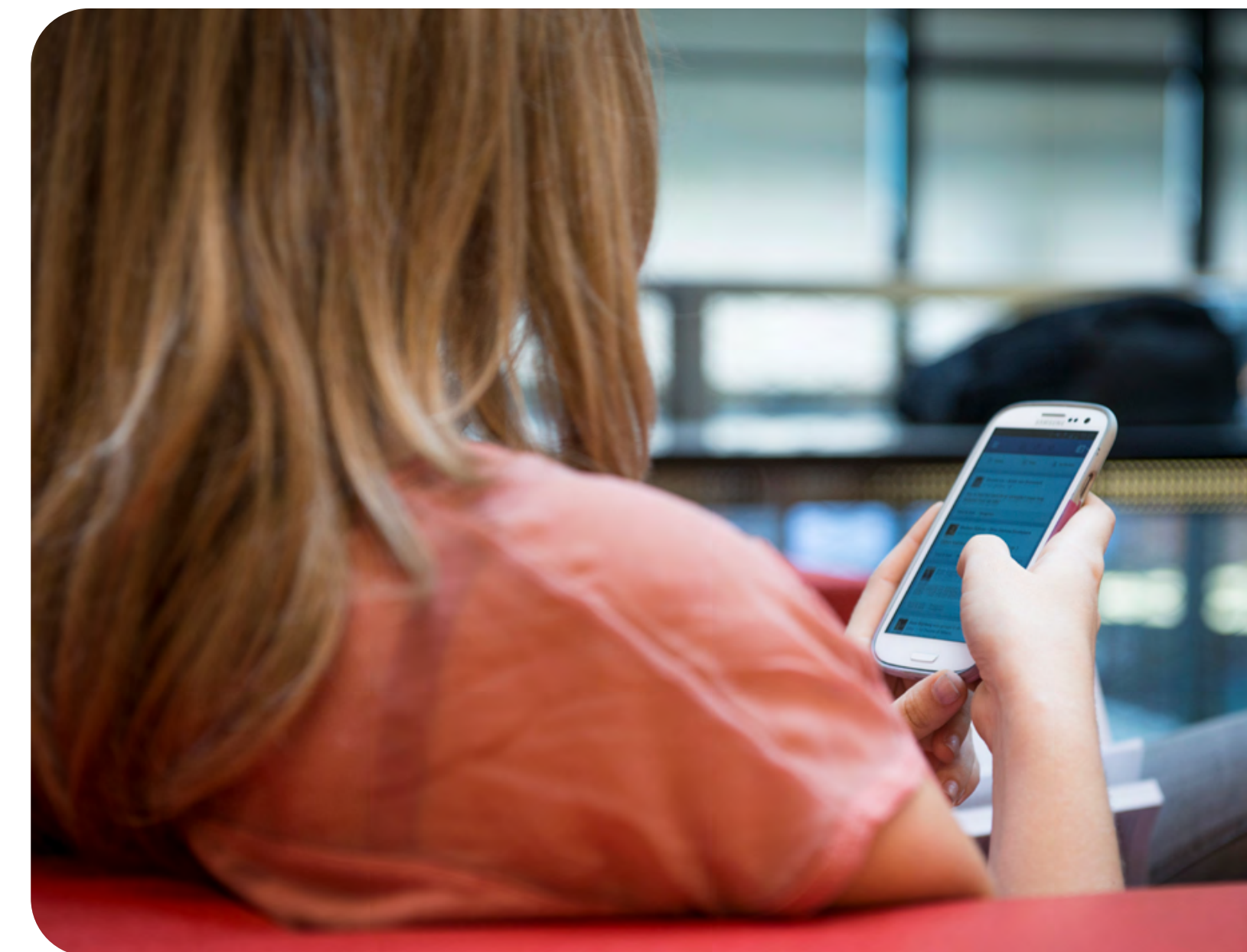
ACT

Drivers

Globalisering; Connectiviteit en interactie;
Concentratie van rijkdom en economische ongelijkheid

Vaste draadloze netwerktoegang (fixed wireless access; FWA) is een alternatief voor bekabelde internettoegang, met name in gebieden waar glasvezel- of koperinfrastructuur te duur of logistiek moeilijk te implementeren is.

Modems en routers voor FWA zijn in Nederland in de handel verkrijgbaar en sommige Nederlandse mobiele operators bieden een onbeperkt mobiel abonnement aan dat tegelijkertijd dient als verbinding met de bekabelde infrastructuur. Bovendien zullen de recente ontwikkelingen in de 5G-standaarden het mogelijk maken om niet-aardse communicatienetwerken (op basis van satellietverbindingen) te integreren met de 5G-netwerken op het aardoppervlak. Deze ontwikkeling zal worden ondersteund door chipsets en mobiele telefoons en zal de prestaties van netwerkverbindingen verhogen. Het kan dienen als alternatief voor de producten en diensten van mobiele operators.



Voor onderzoeks- en onderwijsinstellingen ligt het toepassingsgebied voor FWA onder meer bij onderzoeksactiviteiten in landelijke gebieden en/of internettoegang voor een (neven)vestiging zonder strikte netwerkvereisten, gelegen in een gebied zonder vaste netwerkinfrastructuur.

SIGNALEN

Samenwerking binnen ecosystemen stimuleert innovatie (ericsson.com) [↗](#)

5G FWA en de impact ervan op vast breedband: de trends en strategieën die het momentum aansturen (gsmaintelligence.com) [↗](#)

TNO - 5G-EMERGE: Satellietondersteunde mediadistributie aan de rand van het netwerk (edge) (publications.tno.nl) [↗](#)

“De invoering van FWA wordt gestimuleerd door de vraag naar snelle alternatieven voor vast breedband en door nationale initiatieven die gericht zijn op het bereiken van achtergestelde gebieden en het ondersteunen van ambities op het gebied van slimme steden.”

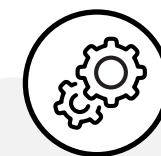
- Ericsson Mobility Report, juni 2025

IMPACT



Onderwijs & Onderzoek

Een 5G-router kan worden overwogen die wifi met wpa2 enterprise ondersteunt (of dit oplossen via de wifi-implementatie in het filiaal), zodat studenten, medewerkers en onderzoekers via eduroam verbinding kunnen maken met het netwerk, zoals ze dat op andere locaties gewend zijn.



Operations

Als een organisatie een kleine, afgelegen (neven)vestiging wil openen zonder strikte netwerkvereisten (omdat eventuele examens dat niet vereisen), kan een FWA-oplossing een geschikte manier zijn om internet-connectiviteit te voorzien.



TREND #2

De strijd om de ether

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Gelijkwaardigheid Inclusie Duurzaamheid
	Menselijkheid	Welzijn

Volwassenheid

- WATCH
- PLAN
- ACT

Drivers

Connectiviteit en interactie; Regelgeving en naleving (compliance); Digitale transformatie; Globalisering

Frequenties voor mobiele communicatie zijn een beperkte natuurlijke hulpbron. Door frequenties wereldwijd te harmoniseren, kunnen netwerkexploitanten, leveranciers van apparatuur en anderen profiteren van wereldwijde schaalvoordelen, zodat smart-phones en laptops overal ter wereld op dezelfde manier verbinding kunnen maken met het netwerk.

In 2021 heeft de Europese Commissie het onderste deel van de 6 GHz-band toege-
wezen aan wifi. Daardoor kunnen we in Nederland gebruikmaken van wifi 6e en wifi 7. De huidige discussie richt zich op het bovenste deel van de 6 GHz-band. Sommige regio's, zoals de VS, Canada, Brazilië en Zuid-Korea, hebben deze frequentieband toegewezen aan wifi-gebruik binnenshuis en overwegen gebruik buitenshuis. Andere landen, zoals China, hebben de volledige (of alleen het bovenste deel van de) 6 GHz-band toegewezen aan 5G/6G-diensten.

Voor toekomstbestendige netwerkontwer-
pen heeft wifi minstens 320 MHz uit het



bovenste deel van de 6 GHz-band nodig. De Europese Commissie is momenteel bezig met het opstellen van beleidsaanbevelingen over hoe het toekomstige gebruik van deze band in Europa het beste kan worden geor-
ganiseerd. Sommige landen, zoals Frankrijk en Duitsland, kiezen ervoor om de bovenste 6 GHz-band toe te wijzen aan 5G/6G.

SIGNALEN

Openbare raadpleging over het ontwerpverslag van de RSPG over de strategische visie voor 6G

(radio-spectrum-policy-group.ec.europa.eu) [↗](#)

RCR Wireless – Europa's touwtrekwedstrijd om het 6 GHz-spectrum (analisten-perspectief) (rcrwireless.com) [↗](#)

Bovenste 6 GHz-band - Overzicht van huidig en potentieel toekomstig gebruik in Nederland (repository.tno.nl) [↗](#)

Wi-Fi Alliance – 6 GHz wifi: de motor achter duurzame connectiviteit (wi-fi.org) [↗](#)

“Het besluit van de EU over de bovenste 6 GHz-band zal rechtstreeks van invloed zijn op de voortgang van de doelstellingen van Digital Decade 2030: het overbruggen van de digitale kloof, het mogelijk maken van slimme steden en het waarborgen dat Europa concurrerend blijft op het gebied van wereldwijd technologisch leiderschap.”

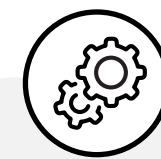
- Adlane Fellah, RCR Wireless

IMPACT



Onderwijs & Onderzoek

Voordelen van het gebruik van de 6 GHz-band zijn onder meer snellere, betrouwbaardere verbindingen met een lagere latentie voor studenten en onderzoekers, bijvoorbeeld voor digitale klaslokalen, videoconferenties en online leren.



Operations

Wifi-professionals hebben voor betrouwbare netwerken in middelgrote en grote gebouwen minimaal 320 MHz uit het bovenste deel van de 6 GHz-band nodig. Zonder deze capaciteit ontstaan risico's zoals vroeger bij de 2,4 GHz-band, met instabiele verbindingen en applicaties die niet optimaal functioneren. Tegen het einde van 2025 rondt het ministerie van Economische Zaken een geïntegreerde visie/plan voor het bovenste deel van de 6 GHz-band af. Het verdient de aanbeveling om het ministerie te stimuleren minimaal 320 MHz van deze band aan wifi toe te wijzen.



TREND #3

AIOps, digital twinning en de opkomst van LLM's in netwerkoperaties

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy Keuzevrijheid Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Verantwoordelijkheid Inclusie Gelijkwaardigheid Transparantie Integriteit
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

- WATCH
- PLAN
- ACT

Drivers

Automatisering en AI; Connectiviteit en interactie

Generatieve AI (GenAI) is een transformatief instrument geworden in veel bedrijfstakken, waaronder de netwerksector. AI-agenten zoals retrieval-augmented generation (RAG) worden ingezet om taken te automatiseren, klantinteracties te verbeteren en intuïtieve data-exploratie mogelijk te maken. Leveranciers integreren nu grote taalmodellen (LLM's) in netwerkbeheersystemen (NMS), waardoor gebruikers de infrastructuur kunnen beheren via natuurlijke taalinteracties. Dit heeft nieuwe zakelijke kansen gecreëerd voor leveranciers, aangezien veel klanten voorheen gebruik maakten van open-source netwerkbeheertools om vendor lock-in te voorkomen — met name in wide area networks (WAN's) die worden beheerd door internetproviders (ISP's).

Opvallend is dat alle grote netwerkleveranciers AI-verbeterde NMS-platforms hebben geïntroduceerd. Ondertussen

werkt de open-sourcegemeenschap aan het dichten van de kloof, met prototypes die voortkomen uit groepen als het Network Automation Forum en National Research and Education Networks (NREN's). In Nederland onderzoekt het Nationaal Groeifonds-programma Future Network Services (FNS) AIOps en digital twin-technologieën om netwerkveranderingen te simuleren voordat ze worden geïmplementeerd. Praktische implementaties van digital twins blijven echter uitdagend door beperkingen in het simuleren van hardwareprestaties en realistische netwerkbelastingen.

AI-gestuurde tools kunnen de operationele efficiëntie verhogen, maar organisaties moeten de risico's van vendor lock-in afwegen tegen investeringen in open-source expertise en flexibele architecturen.

SIGNALEN

Ontwikkeling van verschillende AI-ondersteunde netwerkbeheersystemen

Gebeurtenisgestuurde automatisering: betrouwbare, eenvoudige, aanpasbare automatisering van datacenternetwerken (nokia.com) [↗](#)

HPE neemt Juniper over: toonaangevend in de convergentie van AI en netwerken (mist.com) [↗](#)

Top 10 AI-aangedreven tools die elke netwerkingenieur moet kennen (blog.octanetworks.com) [↗](#)

Netwerkorkestratie van geavanceerde netwerken

Overstappen van automatisering van één domein naar coördinatie van meerdere domeinen (itential.com) [↗](#)

Gedecentraliseerd AI-besturingsraamwerk voor multi-party multi-netwerk 6G-implementaties (wimnet.ee.columbia.edu) [↗](#)

Digital twins en AI in netwerken

Het intelligent organiseren van programmeerbare 6G-netwerken van het Nationaal Groeifonds-programma Future Network Services (futurenetwerkservices.nl) [↗](#)

Wat AI betekent voor netwerkinfrastructuur in 2024 (forbes.com) [↗](#)

Op weg naar een digital twin voor netwerkbeheer en -exploitatie (ieeexplore.ieee.org) [↗](#)

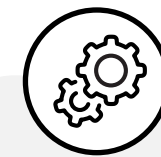
“SURF streeft naar een intelligent netwerk dat incidenten correct kan beoordelen en in realtime kan oplossen met behulp van AIOps. Als gemeenschap zouden we moeten samenwerken om de benodigde algoritmen openlijk te ontwikkelen en ervoor te zorgen dat ze voor iedereen toegankelijk zijn.” – Peter Boers, SURF

IMPACT



Onderwijs & Onderzoek

Netwerkdiensten van hogere kwaliteit zijn cruciaal voor verschillende soorten onderzoeks- en onderwijsactiviteiten die afhankelijk zijn van gegevenstoegang en gegevensuitwisseling. Dit zou bijvoorbeeld van cruciaal belang zijn voor online lessen voor studenten of gegevensuitwisseling met hoge doorvoersnelheid om wetenschappelijke experimenten uit te voeren of wetenschappelijke analyses uit te voeren.



Operations

- AI-gestuurde tools kunnen de operationele efficiëntie verbeteren, maar onderwijs- en onderzoeksinstituten moeten een evenwicht vinden tussen de risico's van vendor lock-in en investeringen in open-source expertise en flexibele architecturen voor langdurige operationele continuïteit.
- Hoogwaardige netwerkdiensten vereisen een professionele aanpak van incidentmanagement om de mean time to acknowledge (MTTA) en de mean time to repair (MTTR) na een incident effectief te verkorten. Het inzetten van AI in netwerkmanagementsystemen (NMS) kan MTTA en MTTR aanzienlijk reduceren.



TREND #4

Energieverbruik en ecologische voetafdruk

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Verantwoordelijkheid Transparantie Gelijkwaardigheid
	Menselijkheid	Welzijn

Volwassenheid

- WATCH
- PLAN
- ACT

Drivers

Energievoorziening en -vraag; Connectiviteit en interactie; Vraag naar schoon water; Biodiversiteit

Door de energietransitie wordt er steeds meer gekeken naar de energie-efficiëntie van digitale infrastructuren. Stijgende energiekosten en beperkte capaciteit van het elektriciteitsnet zorgen ervoor dat data-centers en netwerkbeheerders onder druk staan om hun energie- en koelingsbehoeften te verminderen. Tegelijkertijd, nu de wet van Moore vertraagt, stuit chip-miniaturisatie op fysieke grenzen, waardoor efficiëntiewinst door kleinere chip nodes (bijvoorbeeld van 5 nm naar 3 nm) marginaal wordt. Met een jaarlijkse groei van de bandbreedtebehoefte van 25% zullen toekomstige prestatieverbeteringen steeds meer afhankelijk zijn van een hogere energie-input, waardoor de uitdagingen op het gebied van thermisch beheer toenemen.

Om tegemoet te komen aan de behoefte aan energie-efficiënte activiteiten, worden adaptieve energiebesparingsstrategieën onderzocht. Dergelijke strategieën omvatten benaderingen zoals router tuning en het

uitschakelen van ongebruikte systemen, ondersteund door standaarden zoals Energy Efficient Ethernet en principes van green computing. Aangezien verkeerspatronen voorspelbaar zijn, kan geautomatiseerde energieoptimalisatie aanzienlijke besparingen opleveren.

In Nederland en daarbuiten zetten stijgende stroom- en koelingskosten instellingen ertoe aan om energiezuinige hardware te overwegen voor langetermijninvesteringen. Apparaten met ingebouwde energiebesparende functies kunnen over hun levenscyclus van 5 tot 10 jaar lagere total cost of ownership opleveren, waardoor prestatiebehoeften en duurzaamheidsdoelstellingen op elkaar worden afgestemd.

SIGNALEN

Energiebesparing in hardware

Energie besparen op Juniper's PTX-routers met PFE (packet forwarding engine) uitgeschakeld (community.juniper.net) 

Nokia en Orange kondigen extreme energiebesparende slaapstand aan op Mobile World Congress 2024 (telecomtv.com) 

Standaarden en principes van green computing

Wat is energiezuinig internet? (fs.com) 

Van bewustwording naar actie: evaluatie van de betrokkenheid van IT-professionals bij principes van green computing voor een effectief beleidsontwerp (journalwjarr.com) 

“We pleiten al lang voor de noodzaak van samenwerking binnen het ecosysteem als we de ecologische voetafdruk van onze sector willen verkleinen en onze netwerken zo energiezuinig mogelijk willen maken.”

- Arnaud Vamparys, CTIO, Orange Europe

IMPACT



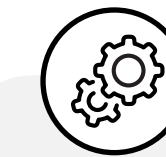
Onderwijs

- Onderwijsprogramma's moeten zich bewust zijn van de gevolgen van datacenters en grootschalige data-netwerkdiensten voor de duurzaamheid wat betreft energieverbruik en koelbehoeften.
- Bereid studenten voor op een carrière in IT, green tech en smart cities en maak ze bewust van de mogelijkheden van duurzaamheid in IT
- Integreer energie-efficiëntieonderwerpen in opleidingen over netwerktechniek, IT-beheer en duurzaamheid.



Onderzoek

- Onderzoeksgroepen moeten zich bewust zijn van de gevolgen van datacenters en grootschalige data-netwerkdiensten voor de duurzaamheid wat betreft energieverbruik en koelingsbehoeften.
- Duurzaamheidsgerichte innovatie zal verder onderzoek stimuleren op het gebied van energiezuinige hardware, software-defined networking (SDN) en AI voor energieoptimalisatie.
- Zoek actief naar financieringsmogelijkheden zoals subsidies die aansluiten te relateren zijn aan klimaatdoelstellingen en social development goals (SDG's).



Operations

- Instellingen moeten duurzaamheidsparameters, zoals energieverbruik en koelingsvereisten, opnemen in hun inkoop- en bedrijfsbeleid, naast de vereisten op het gebied van hardwareprestaties en total cost of ownership.
- Houd rekening met de aanzienlijke groei van de bandbreedte die voor het komende decennium wordt verwacht bij het maken van keuzes voor het netwerkontwerp met betrekking tot service- en hardwarevereisten.

TREND #5

Glasvezelnetwerken: strategische infrastructuur voor de kenniseconomie

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Integriteit Transparantie Verantwoordelijkheid Duurzaamheid
	Menselijkheid	Veiligheid Welzijn

Volwassenheid

- WATCH
- PLAN
- ACT

Drivers

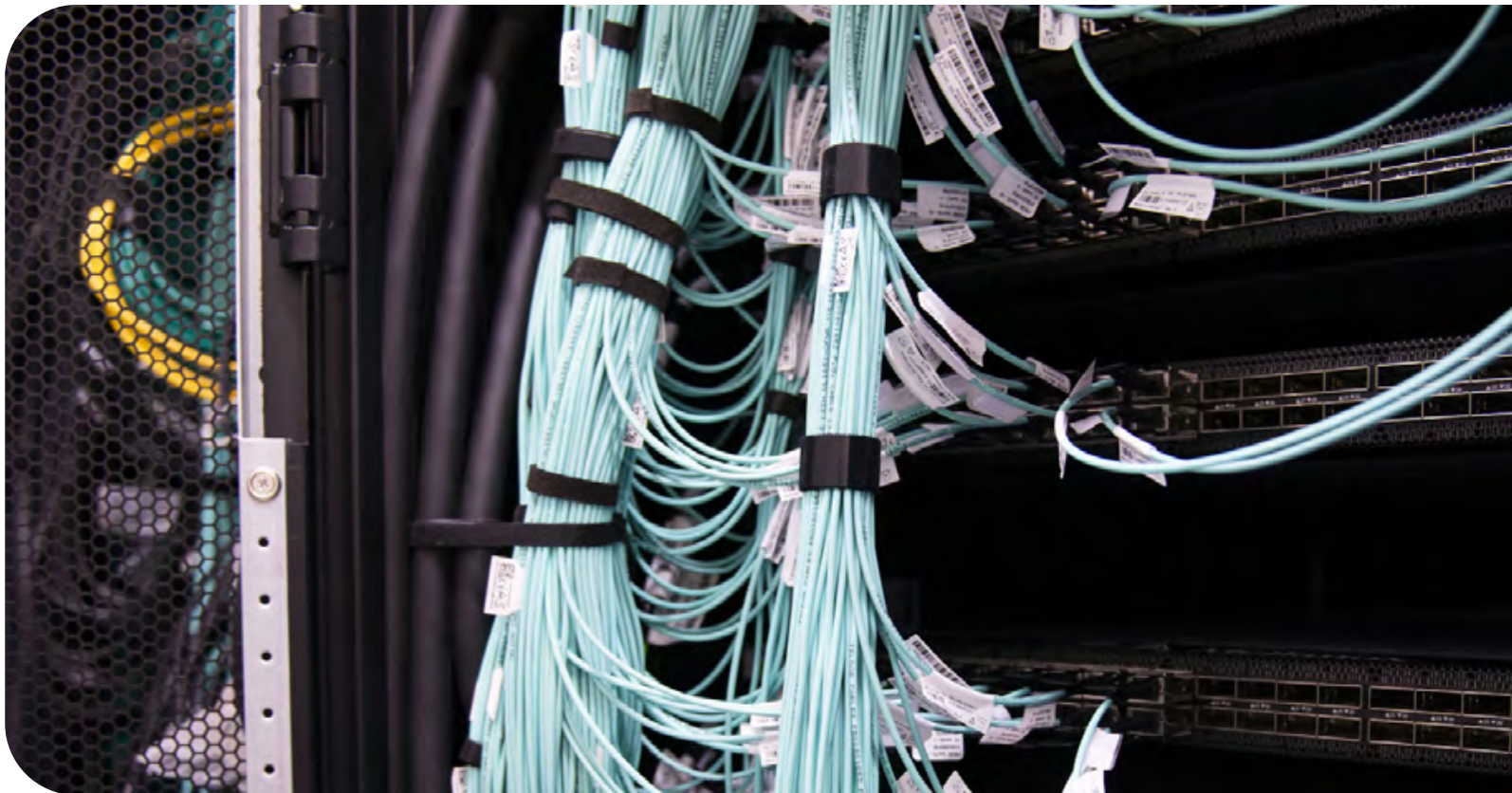
Globalisering; Connectiviteit en interactie; Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit; Kritieke infrastructuur

Intercontinentale glasvezelverbindingen vormen de fundering van de wereldwijde digitale infrastructuur en zorgen voor snelle, lage-latentieconnectiviteit die cruciaal is voor economische ontwikkeling en nationale veiligheid. Landen breiden hun glasvezelnetwerken in hoog tempo uit om de digitale prestaties te verbeteren en de afhankelijkheid van door het buitenland gecontroleerde infrastructuur te verminderen.

Naast hun traditionele rol worden glasvezelnetwerken steeds meer strategische activa door de komst van fiber-sensing technologie. Deze innovatie stelt glasvezelkabels in staat om seismische activiteit te detecteren, de toestand van de oceanen te monitoren en fysieke verstoringen te identificeren, waardoor zowel de veiligheid van de infrastructuur als de monitoring van het milieu wordt verbeterd.

Dit roept echter ook vragen op over gegevensprivacy en ongeoorloofde toegang. Op geopolitiek niveau wordt het steeds urgenter om wereldwijde dataroutes te diversifiëren,

aangezien een groot deel van het verkeer nog steeds via kwetsbare knelpunten zoals het Suezkanaal verloopt. Als reactie hierop onderzoeken landen en bedrijven alternatieve onderzeese routes, waaronder routes door het Noordpoolgebied, die mogelijk zijn geworden door het smeltende ijs. Deze routes bieden een betere redundantie en een lagere latentie tussen continenten, maar brengen ook nieuwe strategische spanningen met zich mee. Omdat glasvezelnetwerken steeds meer een geopolitieke rol krijgen, is het essentieel om hun robuustheid, soevereiniteit en dataveiligheid te garanderen.



SIGNALEN

Ontwikkelingen in glasvezelkabeltechnologie

NEC en NTT voeren met succes een uniek experiment uit met langeafstandstransmissie over 7.000 km met behulp van 12-core glasvezel (subtelforum.com) [↗](#)

Gedistribueerde akoestische detectie in onderzeese optische vezels (spiedigitallibrary.org) [↗](#)

Arctische glasvezelinfrastructuur

Robuustheid van onderzeese kabels in het Noordpoolgebied (nordu.net) [↗](#)

Arctic Fibre is een driefasig onderzees kabelproject dat Azië, Canada en Europa via de Noordelijke IJszee met elkaar moet verbinden (submarinenetworks.com) [↗](#)

Nationalisatie van commerciële glasvezelinfrastructuur

‘Strategische’ fabrikant van onderzeese telecommunicatie-kabels ASN genationaliseerd door Frankrijk (lemonde.fr) [↗](#)

Wereldwijde belangstelling voor onderzeese kabels

De geopolitiek van onderzeese kabels: ondergewaardeerd en bedreigd (tatic1.squarespace.com) [↗](#)

Whitepaper: De nieuwe geopolitiek van onderzeese kabels (hinrichfoundation.com) [↗](#)

IMPACT



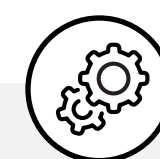
Onderwijs

- Geopolitieke spanningen rond onderzeese kabels kunnen leiden tot digitale verstoringen, wat gevolgen kan hebben voor online leren en cloud-gebaseerde onderwijstools.
- Regio's met een kwetsbare kabelinfrastructuur of beperkte alternatieve kabelverbindingen worden het meest getroffen bij netwerkstoringen of -onderbrekingen, waardoor de digitale kloof tussen goed verbonden en minder goed verbonden instellingen en studenten/leerlingen groter wordt.



Onderzoek

Het transport van data door politiek gevoelige gebieden verhoogt het risico op monitoring, het onderscheppen van data en sabotage in de verbindingen, met mogelijke gevolgen voor onderzoekers wat betreft internationale samenwerking en het delen van gevoelige onderzoeksgegevens.



Operations

- Investerings zijn nodig in redundante connectiviteit, lokale cloudservices en versterkte cybersecurity om de operationele continuïteit te waarborgen bij mogelijke kabelstoringen of risico's op datamonitoring.
- Het transport van gevoelige wetenschappelijke data en studentgegevens via geopolitiek gevoelige netwerkroutes vergroot de noodzaak om te voldoen aan wetten voor gegevensbescherming, wat extra juridische en technische inspanningen vergt.
- Door de huidige geopolitieke context worden instellingen aangespoord om zich te richten

op nationale prioriteiten en hun digitale soevereiniteit te vergroten, onder meer door de afhankelijkheid van buitenlandse infrastructuur te verminderen en lokale innovatie te ondersteunen.

- Digitaal goed verbonden onderwijs- en onderzoeksinstellingen bieden ruimte voor samenwerking en zorgen voor toegang tot kennis. Daarom blijft het voor dergelijke instellingen op alle niveaus essentieel om weloverwogen beslissingen te nemen over investeringen in kritieke digitale infrastructuur.

Quantum-technologieën

Auteurs

Ariana Torres-Knoop (SURF), Menica Dibenedetto (Universiteit Maastricht), Dmytro Polishchuk (Saxion Hogeschool), Marten Teitsma (Hogeschool van Amsterdam), Wojciech Kozlowski (SURF), Harold Teunissen (SURF)

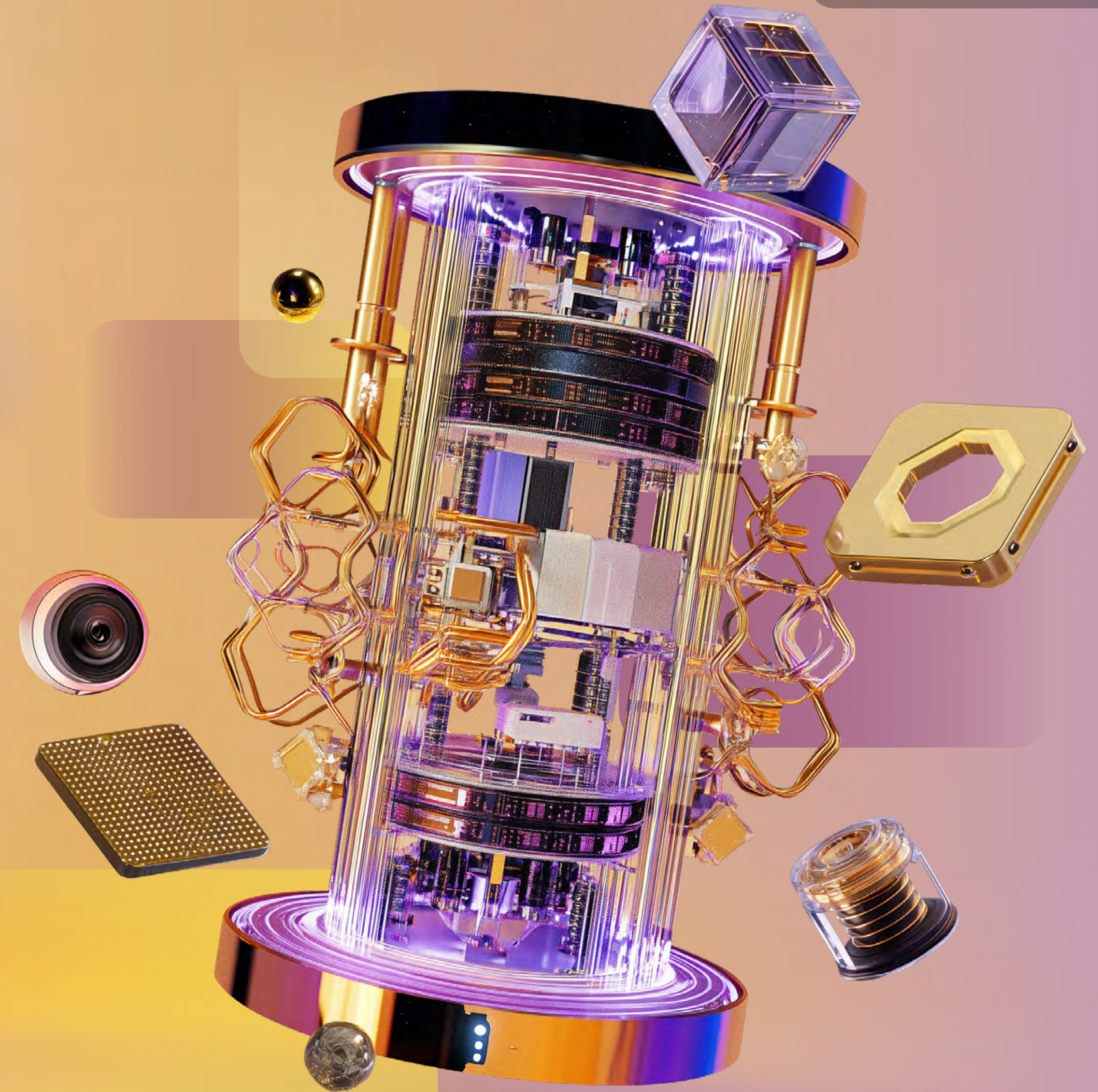
1. Van ad-hoc-experimenten naar toepassingen

2. Op weg naar fouttolerante quantumcomputers (FTQC)

3. Versnelling van hardware-ontwikkeling

4. Het versterken van de robuustheid en het potentieel van quantumcomputing

5. Integratie van quantumsensing in andere domeinen



Inleiding

Quantumtechnologie maakt gebruik van de principes van de quantummechanica. Quantumtechnologie belooft doorbraken te realiseren in vakgebieden zoals materiaalkunde, geneeskunde en AI, door het mogelijk maken van nieuwe simulaties, dataverwerking die vele malen sneller verloopt en verbeterde beveiliging via quantumnetwerken en quantumsensing.

In tegenstelling tot de eerste quantumrevolutie, die leidde tot technologieën gebaseerd op fundamentele inzichten in de quantummechanica, zoals de laser, markeert de huidige tweede quantumrevolutie een transitie naar geavanceerde toepassingen. Deze nieuwe fase richt zich op het benutten van onze groeiende capaciteit om deeltjes op quantumniveau te manipuleren, waardoor computationele, communicatie- en sensorische mogelijkheden ontstaan die onmogelijk zijn met uitsluitend klassieke

(niet-quantum) methoden. In de afgelopen jaren heeft het vakgebied een snelle groei door gemaakt, met belangstelling die zich ver buiten de laboratoria uitstrekt en brede pogingen stimuleert om het potentieel te benutten. Dit momentum, samen met de dringende vraag naar gekwalificeerde professionals, heeft de oprichting van nieuwe onderwijsprogramma's, trainingsinitiatieven en ontwikkeltools in verschillende sectoren bevorderd.

Ondanks deze vooruitgang bevinden de meeste quantumtechnologieën zich nog in een vroeg stadium. Ze vereisen gespecialiseerde componenten, complexe infrastructuur en deskundige experts. Voortdurende ondersteuning van onderzoek, onderwijs en toepassingsontwikkeling is essentieel om het volledige potentieel te ontsluiten.



Quantumtechnologieën kunnen worden onderverdeeld in drie hoofdgebieden: quantumcomputing, quantumcommunicatie en quantumdetectie.

Quantumcomputing omvat zowel de ontwikkeling van hardware als software. Huidige systemen, bekend als noisy intermediate-scale quantum (NISQ)-systemen, worden beperkt door fouten en ruis. Om het volledige potentieel van quantumcomputing te benutten, moeten deze systemen zich ontwikkelen tot fault-tolerant quantum computing (FTQC). Dit zal toepassingen mogelijk maken op het gebied van quantsimulatie, -optimalisatie en -machine learning.

Quantumcommunicatie verwijst naar de mogelijkheid om quantuminformatie te verzenden, wat ongekeerde veiligheid en effici-

entie biedt voor onze internetinfrastructuur. Het zal het klassieke internet verbeteren met mogelijkheden die aantoonbaar niet haalbaar of aanzienlijk minder efficiënt zijn wanneer uitsluitend gebruik wordt gemaakt van klassieke (communicatie)technologie. Bovendien zal de ontwikkeling van een quantuminternet essentieel zijn voor het verbinden van quantumcomputers tot krachtige, gedistribueerde systemen.

Quantumdetectie maakt gebruik van quantummechanische effecten voor uitzonderlijk nauwkeurige metingen, met toepassingen bijvoorbeeld in navigatie, gezondheidszorg en milieubewaking.

Een cruciaal aandachtspunt bij de ontwikkeling van quantumtechnologieën is hun dual-use karakter: ze kunnen zowel voor civiele als

militaire toepassingen worden gebruikt. Hierdoor wordt de ontwikkeling beïnvloed door exportcontroles en geopolitieke dynamiek, die de afgelopen jaren een belangrijke rol hebben gespeeld in het tempo van innovatie.

Bijdragers

Dr. Clara Osorio Tamayo (QDNL CAT3-programmaleider, TNO-wetenschapper), **Cecile M. Perrault** (hoofd Innovation & Partnerships bij Alice & Bob), **Dr. Kees Eijkel** (algemeen directeur QuTech), **Jesse Robbers** (algemeen directeur imec NL, medeoprichter en voormalig bestuurslid Quantum Delta NL), **Prof. Dr. Harry Buhrman** (Chief Scientist for Algorithms and Innovation bij Quantinuum)

Studenten

Irene Colombo, Leo Paggen, Akshay Bande, Francesco Agnesi, Laurent Bijman, Alexandru Balan Temocico

TREND #1

Van ad-hoc experimenten naar toepassingen

Publieke waarden



Autonomie



Rechtvaardigheid

Duurzaamheid | Integriteit | Inclusie



Menselijkheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Digitale transformatie; Concentratie van rijkdom en economische ongelijkheid; Technologische vooruitgang en informatica; Automatisering en AI; Kritieke infrastructuur

Quantumtechnologieën zijn inmiddels zo ver ontwikkeld dat onderzoekers kunnen beginnen met het testen van proof-of-concepts en realistische toepassingen. In de afgelopen jaren hebben softwaretools, programmeertalen en ontwikkelomgevingen voor quantumcomputing zich snel ontwikkeld. Een vergelijkbare ontwikkeling is in opkomst voor quantumnetwerken en quantumsensing, met nieuwe platforms voor het modelleren van communicatielinks, het ontwerpen van quantuminternetprotocollen en het verwerken van de enorme datasets die door gevoelige sensoren worden geproduceerd. Naarmate deze tools volwassen worden, wordt verwacht dat ze innovatie zullen stimuleren, vergelijkbaar met de groei die al in quantumcomputing is waargenomen.

Gebruiksvriendelijke software en ‘abstractielagen’ op hoger niveau verlagen de drempel voor wetenschappers, ingenieurs en bedrijven: in plaats van diepgaande expertise in quantumfysica te moeten hebben, kunnen ontwikkelaars zich richten op het oplossen van problemen in bijvoorbeeld cyberbe-



veiliging, gezondheidszorg, klimaatwetenschap, logistiek, financiën en geavanceerde productie.

Voortdurende investeringen in compilers, cloudplatforms, open-sourcebibliotheken en domeinspecifieke toolkits zullen van cruciaal belang zijn om het volledige potentieel van quantumtechnologie te ontsluiten, nieuw talent aan te trekken, samenwerking te bevorderen en oplossingen mogelijk te maken voor uitdagingen die voorheen onoplosbaar leken.

SIGNALEN

Toegenomen belangstelling van verschillende sectoren, industrieën en domeinen om de toepassingen van quantumtechnologie te verkennen

De eerste succesvolle demonstratie van een nieuw quantumcomputingprotocol voor het genereren van 'certified randomness' (jpmorgan.com) [↗](#)

70% van de bedrijfsleiders gebruikt en ontwikkelt use cases voor quantumcomputing en 91% investeert of is van plan te investeren in quantumcomputing (digitalisationworld.com) [↗](#)

Toyota en QuSoft (amsterdamsciencepark.nl) [↗](#)

Subsidies voor use cases (subsidiezoeker.nl) [↗](#)

Toepassingen van quantuminternet (quantuminternetalliance.org) [↗](#)

Softwareontwikkelingen

Eerste besturingssysteem voor quantumnetwerken (qutech.nl) [↗](#)

“Quantumvoordeel zal waarschijnlijk niet voortkomen uit algoritmen die in ‘worst case’-scenario’s worden geëvalueerd, maar eerder uit quantumheuristieken en specifieke uitdagingen: individuele gevallen van praktisch relevante problemen die ‘quantum-easy’ zijn - efficiënt oplosbaar met quantumalgoritmen - terwijl ze tegelijkertijd vanuit klassiek perspectief uitdagend blijven en zich slecht laten oplossen met klassieke methoden.” - Prof. dr. Harry Buhrman, hoofdwetenschapper voor algoritmen en innovatie bij Quantinuum

IMPACT



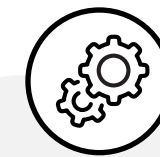
Onderwijs

Quantumtechnologieën maken - op termijn - leren en betrokkenheid toegankelijker.



Onderzoek

- Binnen afzienbare tijd zullen er meer potentiële toepassingen zijn, met toenemende betrokkenheid van en gezamenlijke ontwikkeling met andere disciplines.
- De mogelijkheden voor samenwerking met het bedrijfsleven zullen toenemen.



Operations

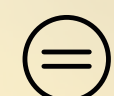
Het is mogelijk dat het aanbod aan software zo groot wordt dat het moeilijk bij te houden is.



TREND #2

Op weg naar fouttolerante quantumcomputing (FTQC)

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Integriteit
	Menselijkheid	

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

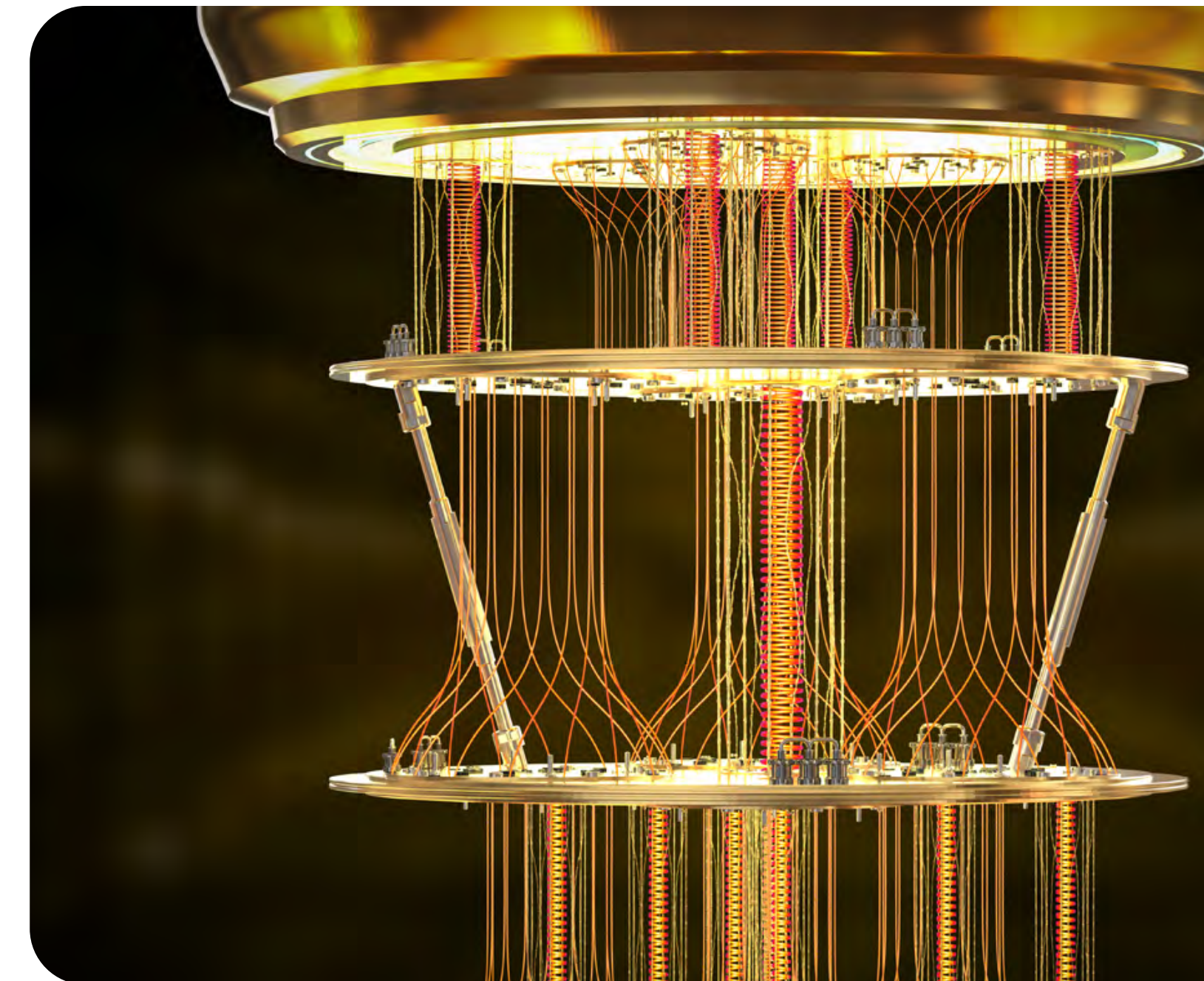
Technische vooruitgang en berekeningen; Kritieke infrastructuur

Een van de belangrijkste uitdagingen in quantumcomputing is de kwetsbaarheid van quantumsystemen voor fouten, wat leidt tot onbetrouwbare of ‘noisy’ berekeningen. Deze fouten ontstaan door decoherentie, omgevingsruis en imperfecte quantumgates, en kunnen berekeningen snel onbetrouwbaar maken.

Fault-tolerant quantumcomputing (FTQC) lost deze foutgevoeligheid op door middel van quantumfoutcorrectie (quantum error correction; QEC). Door fouten te corrigeren zonder de gecodeerde quantuminformatie te verstoren, kunnen ‘noisy’ systemen betrouwbare computers worden die complexe algoritmen kunnen uitvoeren.

Het bereiken van FTQC vraagt zowel om verbeteringen in de hardware, zoals een groter aantal en hogere kwaliteit van fysieke qubits en het handhaven van foutpercentages onder de vereiste drempels, als om de ontwikkeling van efficiëntere foutcorrigerende codes en fouttolerante algoritmen.”

In de komende jaren wordt verwacht dat de inspanningen om de huidige NISQ-systemen



(noisy intermediate-scale quantum) door te ontwikkelen tot volledig fouttolerante systemen zullen toenemen, met meer investeringen in onderzoek en ontwikkeling op het gebied van foutreductie, technieken voor quantumfoutcorrecties en algoritmen die geschikt zijn voor fouttolerante berekeningen.

SIGNALEN

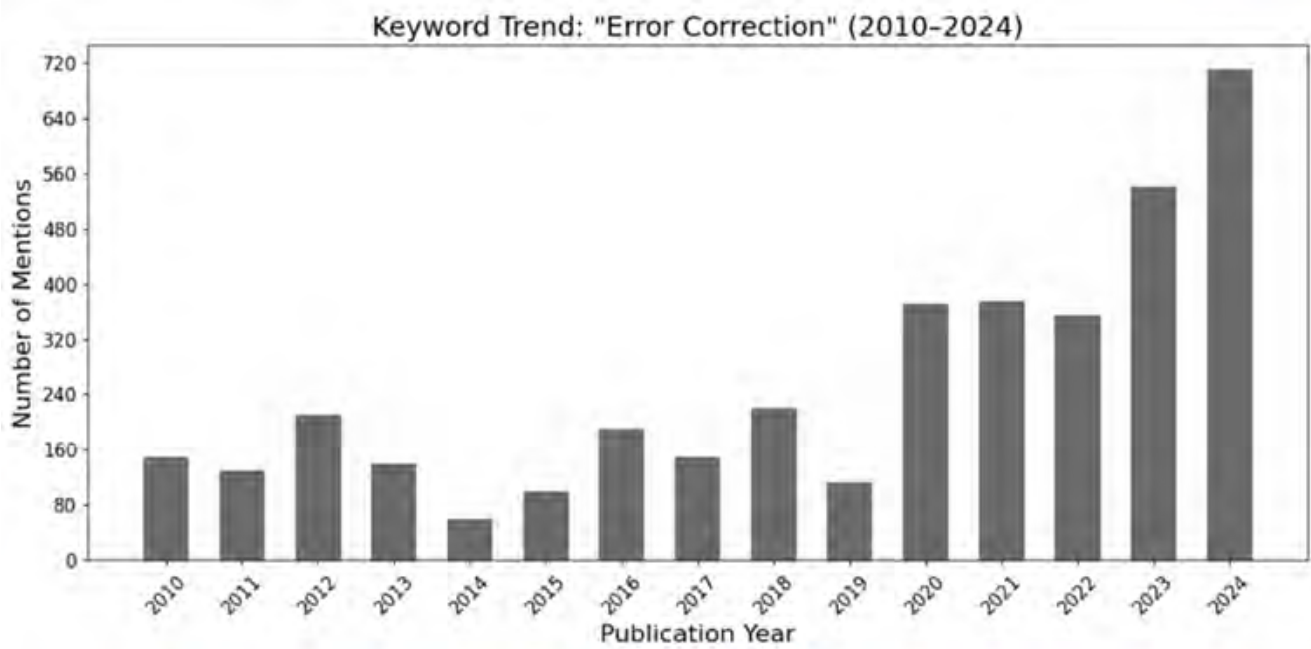
Stappenplan om FTQC te bereiken

- IBM-roadmap ([ibm.com](#))
- Google-roadmap ([quantumai.google](#))
- Alice & Bob-routekaart ([quantumcomputingreport.com](#))
- Quera-roadmap ([quera.com](#))
- Quantinuum-roadmap ([quantinuum.com](#))

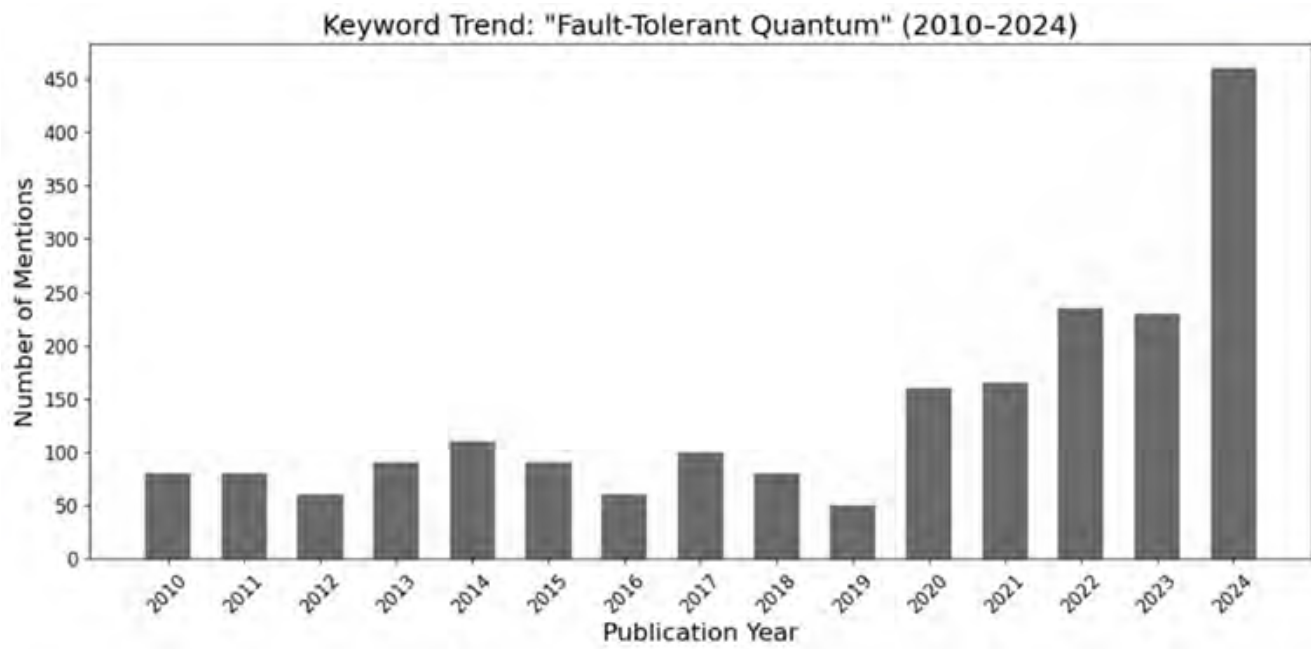
“FTQC is niet langer een verre ambitie; het volgt inmiddels een duidelijk traject. Om het volledige potentieel te benutten, moeten we dit momentum koppelen aan geoptimaliseerde algoritmen, relevante toepassingen en realistische inschattingen van de benodigde middelen.”

– Cecile M. Perrault, hoofd Innovatie & Partnerschappen, Alice & Bob

Toename van onderzoek naar foutcorrectie



Verhoogde aandacht voor FTQC



Enkele invloedrijke artikelen

- Demonstratie van dynamic surface codes, door Google AI en medewerkers ([arxiv.org](#))
- Het verminderen van quantumfouten via opschaling van een surface code-logische qubit, door Google Quantum AI ([nature.com](#))
- Prestaties van ‘quantum approximate optimization’ met ‘quantum error detection’ ([nature.com](#))
- Quantum error-corrected berekening van moleculaire energieën ([arxiv.org](#))
- Over het belang van foutbeperking voor quantumcomputers ([arxiv.org](#))

IMPACT



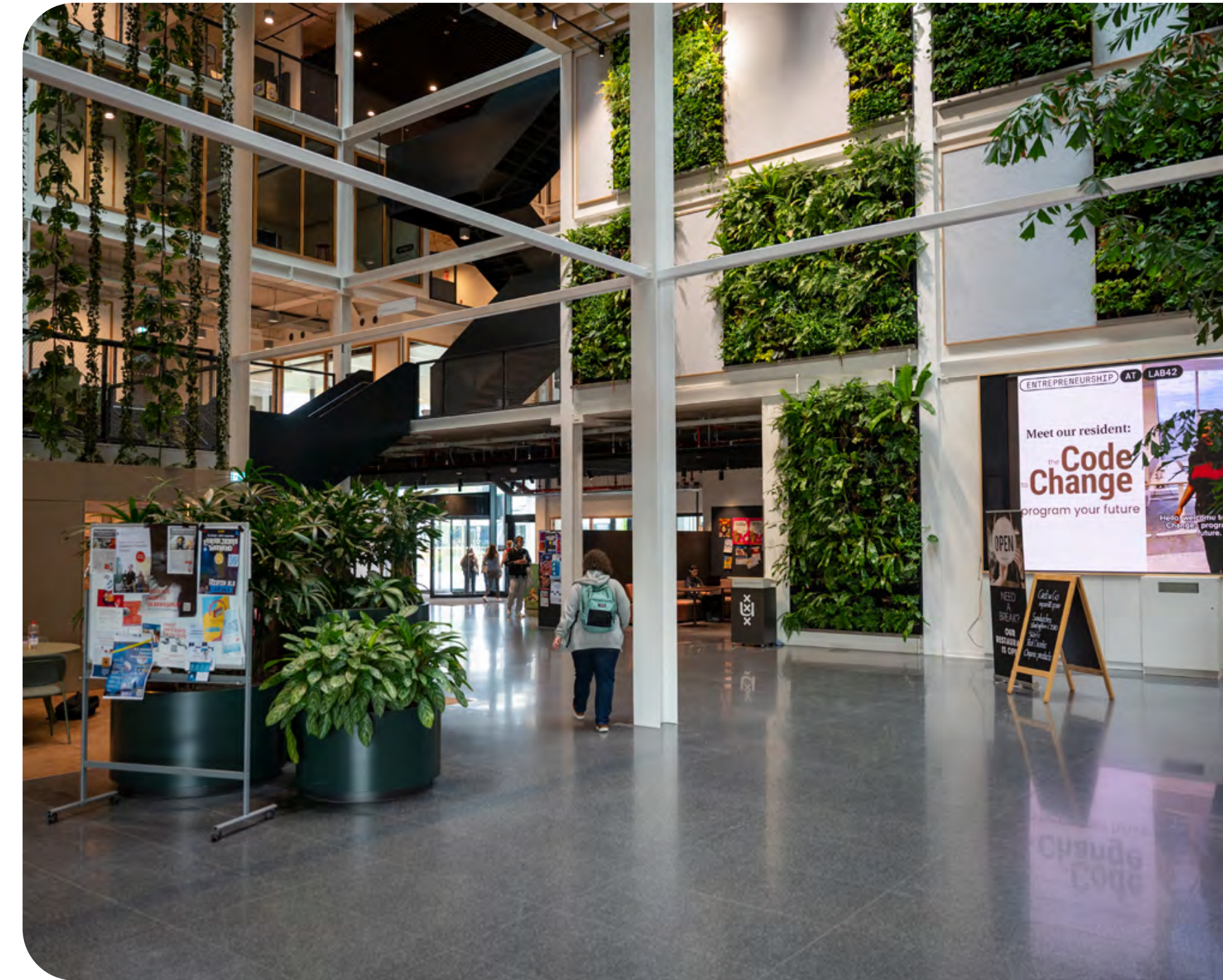
Onderwijs

Voor de verdere ontwikkeling van quantumtechnologieën zijn specifieke expertise en interdisciplinaire vaardigheden essentieel. Daarbij is een achtergrond in toegepaste wiskunde of theoretische fysica van groot belang om nieuwe methoden, algoritmen en toepassingen te kunnen ontwikkelen.



Onderzoek

- Er zal meer financiering beschikbaar zijn voor onderzoek rond FTQC.
- De eerste voorbeelden van FTQC worden verwacht.
- Er worden nieuwe technieken voor foutcorrectie en -beperking ontwikkeld.



TREND #3

Versnelling van hardware-ontwikkeling

Publieke waarden

	Autonomie	Pluriformiteit
	Rechtvaardigheid	Eerlijkheid Integriteit Toegankelijkheid
	Menselijkheid	

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

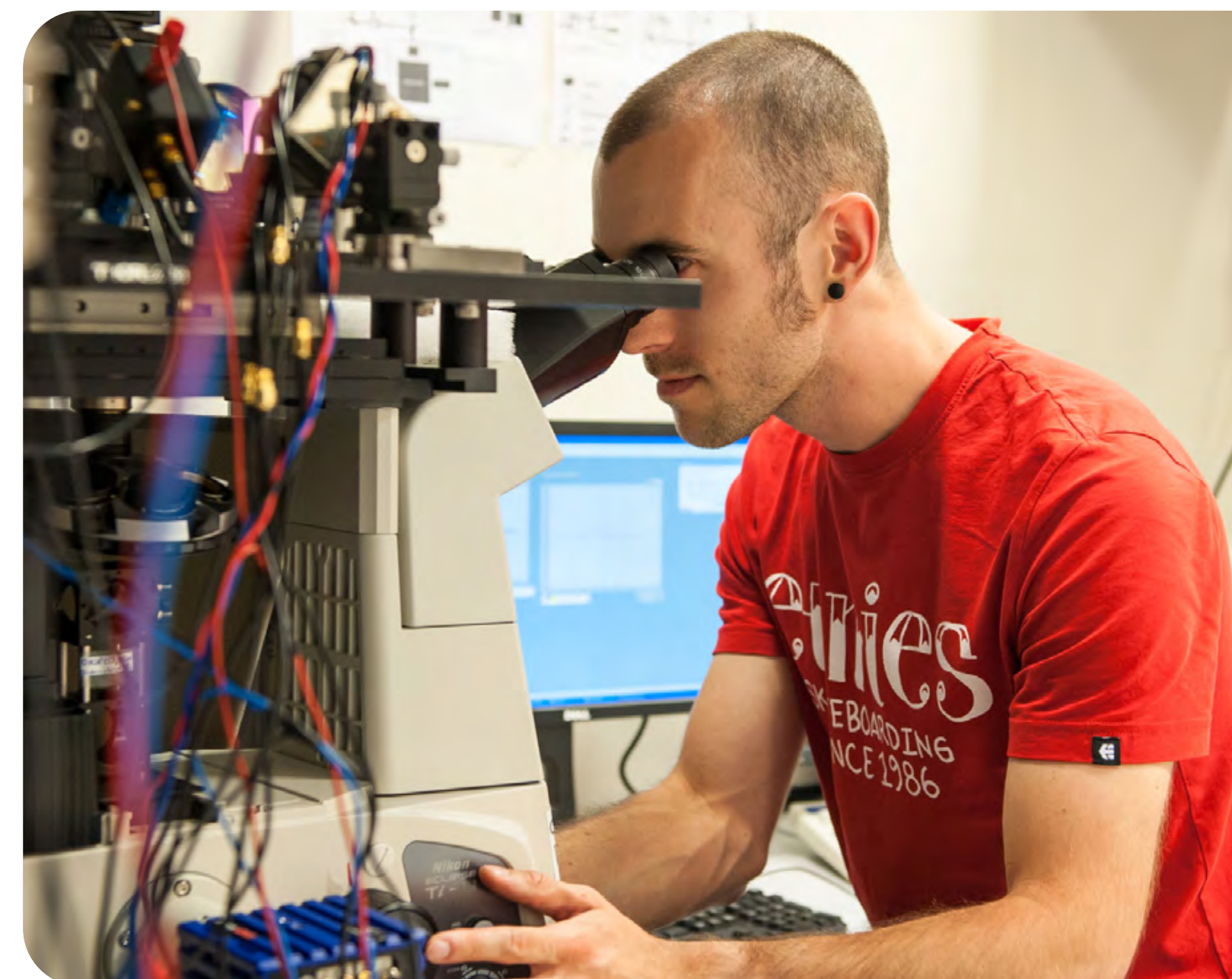
Technologische vooruitgang en computation; Schaarste aan grondstoffen; Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit

De technologieën die momenteel voor quantumprocessors (chips) worden ontwikkeld, van supergeleidende circuits, gevangen ionen en fotonische qubits tot nieuwere kandidaten zoals neutrale atomen en semiconductor-spinqubits, kennen elk specifieke voordelen en uitdagingen. Zelfs kleine verbeteringen in coherentie, connectiviteit of nauwkeurigheid van qubits kunnen grote impact hebben. Doorbraken op het gebied van foutcorrectie, productieprocessen of hybride ontwerpen kunnen het landschap snel veranderen. Naarmate onderzoek en investeringen toenemen, neemt de competitie om de meest geavanceerde quantumhardware te realiseren aanzienlijk toe.

Het huidige onderzoek en de ontwikkeling van quantumchips concentreert zich op vier kerngebieden: het vergroten van aantal en kwaliteit van qubits; het ontwerpen van processorarchitecturen met geïntegreerde foutcorrectie; het benutten van bestaande infrastructuur voor halfgeleiderfabricage; en het verbeteren van de schaalbaarheid door

middel van modulaire ontwerpen die meerdere chips kunnen omvatten.

De snelle vooruitgang in de ontwikkeling van chips leidt ook tot verbeteringen in ondersteunende tools zoals cryogene technologie, besturingselektronica, bekabeling, lasers en fotonische componenten.



SIGNALEN

Nieuws en aankondigingen over verbeteringen op het gebied van hardware

Fujitsu en RIKEN ontwikkelen 's werelds meest geavanceerde supergeleidende quantumcomputer met 256 qubits
([fujitsu.com](#))

Quantinuum bewijst dat hun quantumcomputers schaalbaar zijn dankzij belangrijke hardware-innovaties
([quantinuum.com](#))

Schaalbaar ionentransport van meerdere soorten in een op een raster gebaseerde oppervlakte-elektrodeval ([arxiv.org](#))

De H-serie van Quantinuum bereikt 56 fysieke qubits die allemaal met elkaar verbonden zijn en neemt afscheid van het tijdperk van klassieke simulatie ([quantinuum.com](#))

IBM lanceert zijn meest geavanceerde quantumcomputers, die nieuwe wetenschappelijke waarde en vooruitgang op het gebied van quantumvoordelen stimuleren
([newsroom.ibm.com](#))

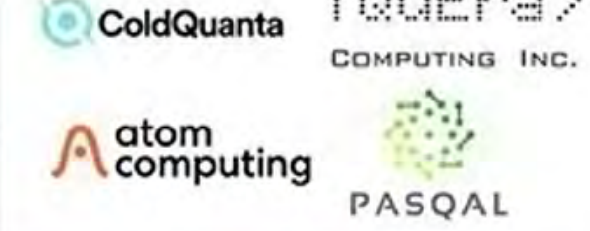
Verhoging van investeringen in bedrijven en start-ups die quantumplatforms en ondersteunende technologieën ontwikkelen

De financiering voor start-ups op het gebied van quantumcomputing bereikte in 2024 een recordhoogte van 2 miljard dollar, een verviervoudiging in de afgelopen vijf jaar
([app.dealroom.co](#))

Dit miljardenbedrijf is van plan om gigantische quantumcomputers te bouwen op basis van licht
([nature-com.saxion.idm.oclc.org](#))

10 startups die in 2025 in het Verenigd Koninkrijk en Europa inzetten op quantumtechnologie
([techfundingnews.com](#))

Het rapport 'Quantumtechnologieën 2024' van Yole Group
([yolegroup.com](#))

Qubit Type	Pros/Cons	Select Players
Superconducting	Pros: High gate speeds and fidelities. Can leverage standard lithographic processes. Among first qubit modalities so has a head start.	
	Cons: Requires cryogenic cooling; short coherence times; microwave interconnect frequencies still not well understood.	
Trapped Ions	Pros: Extremely high gate fidelities and long coherence times. Extreme cryogenic cooling not required. Ions are perfect and consistent.	
	Cons: Slow gate times/operations and low connectivity between qubits. Lasers hard to align and scale. Ultra-high vacuum required. Ion charges may restrict scalability.	
Photonics	Pros: Extremely fast gate speeds and promising fidelities. No cryogenics or vacuums required. Small overall footprint. Can leverage existing CMOS fabs.	
	Cons: Noise from photon loss; each program requires its own chip. Photons don't naturally interact so 2Q gate challenges.	
Neutral Atoms	Pros: Long coherence times. Atoms are perfect and consistent. Strong connectivity, including more than 2Q. External cryogenics not required.	
	Cons: Requires ultra-high vacuums. Laser scaling challenging.	
Silicon Spin/Quantum Dots	Pros: Leverages existing semiconductor technology. Strong gate fidelities and speeds.	
	Cons: Requires cryogenics. Only a few entangled gates to-date with low coherence times. Interference/cross-talk challenges.	

SIGNALEN

Toegenomen belangstelling voor meer schaalbare en modulaire systemen

IBM introduceert de volgende generatie quantumprocessoreren en IBM Quantum System Two (newsroom.ibm.com) [↗](#)

Xanadu kondigt Aurora aan, een universele fotonische quantumcomputer (thequantuminsider.com) [↗](#)

Quantumtransductie en netwerken voor schaalbare computertoepassingen (research.google) [↗](#)

Modulaire supergeleidende qubit-architectuur met een afstembare koppeling met meerdere chips (rigetti.com) [↗](#)

Onderzoekers van Quantinuum zetten een enorme stap voorwaarts door de schaalbaarheid van de QCCD-architectuur aan te tonen (quantinuum.com) [↗](#)

Fouttolerante platforms door ontwerp

Cat-qubits maken een snellere weg vrij naar fouttolerante quantumcomputers (physicsworld.com) [↗](#)

Maak kennis met Willow, onze ultramoderne quantumchip (blog.google) [↗](#)

Amazon doet mee aan quantumrace met chip op basis van 'cat qubit' (bbc.com) [↗](#)

Microsoft onthult Majorana 1, 's werelds eerste quantumprocessor aangedreven door topologische qubits (azure.microsoft.com) [↗](#)

Microsofts Majorana 1-chip baant nieuwe weg voor quantumcomputing (news.microsoft.com) [↗](#)

“De kwaliteit van qubits en betere integratie zijn twee kanten van dezelfde uitdaging: opschalen.”

– Dr. Kees Eijkel, algemeen directeur van QuTech

IMPACT



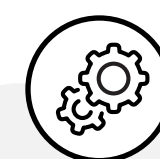
Onderwijs

- Er is een groep professionals met specifieke expertise en interdisciplinaire kennis en vaardigheden nodig, bijvoorbeeld door het opleiden van meer specialisten in engineering of toegepaste fysica.
- Er zal mogelijk meer hardware voor het onderwijs beschikbaar worden gesteld.



Onderzoek

- Innovaties in hardware voortkomend uit quantumcomputing dragen bij aan de versterking van onderzoek en technologische ontwikkeling in andere domeinen.
- Er zal mogelijk meer hardware beschikbaar worden gesteld voor testen en experimenteren.



Operations

Begin na te denken over hoe je toegang tot quantumcomputing mogelijk kunt maken voor onderwijs, onderzoek en de ontwikkeling van use cases.



TREND #4

Het versterken van de robuustheid en het potentieel van quantumcomputing

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid Keuzevrijheid Pluriformiteit
	Rechtvaardigheid	Gelijkwaardigheid Integriteit Toegankelijkheid
	Menselijkheid	

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Bestuurders

Digitale transformatie; Technologische vooruitgang en computation; Automatisering en AI; Kritieke infrastructuur; Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit

Quantumcomputers (QCs) kunnen pas hun volle potentieel benutten als ze betekenisvolle problemen oplossen. Het vergroten van hun rekenkracht gebeurt op drie belangrijke manieren.

Ter eerste maakt hybride high-performance computing–quantum computing (HPC-QC) gebruik van quantumcomputers als co-processors voor berekeningen waarin zij een voordeel bieden. HPC-QC kan niet alleen de mogelijkheden van huidige quantumsystemen uitbreiden, maar in de toekomst ook de prestaties van klassieke HPC-systemen verbeteren. Het vergroot ook de toegankelijkheid van quantumtechnologieën door gebruik te maken van bestaande HPC-infrastructuur en bevordert de acceptatie binnen HPC-gemeenschappen.

Ten tweede, door quantumcomputers te combineren met AI, kan vooruitgang in het ene domein helpen uitdagingen in het andere te overwinnen. Quantumalgoritmen kunnen bijvoorbeeld de prestaties van machine learning verbeteren, terwijl AI-technieken kunnen ondersteunen



bij het optimaliseren van quantumcircuits en foutcorrectie.

Ten derde kan het koppelen van meerdere quantumcomputers via een quantumcommunicatienetwerk hun rekenkracht bundelen. Deze modulaire of gedistribueerde architectuur biedt een route om quantumsystemen te schalen voorbij de beperkingen van individuele systemen.

SIGNALEN

HPC-QC

Quantinuum en Riken (quantinuum.com) [↗](#)

IBM en Euskadi quantum (newsroom.ibm.com) [↗](#)

SURF-quantumcomputer (surf.nl) [↗](#)

Wat is quantum-centric supercomputing (ibm.com) [↗](#)

Quantumcomputing onthuld: inzichten voor de HPC-gemeenschap (quera.com) [↗](#)

“Het ecosysteem rondom quantumcomputing heeft de betekenis van netwerkconnectiviteit voor het opschalen van quantumsystemen onderschat; het opschalen van een enkel quantumstelsel blijkt immers lastig.”

– Jesse Robbers, algemeen directeur imec NL, medeoprichter van en voormalig bestuurslid van Quantum Delta NL

QC&AI Synergie

Generatieve AI voor quantum (quantinuum.com) [↗](#)

De volgende doorbraak in kunstmatige intelligentie: hoe quantum-AI onze wereld zal veranderen (forbes.com) [↗](#)

Ontdek hoe AI quantumcomputing transformeert (thequantuminsider.com) [↗](#)

Quantumcomputing mogelijk maken met AI (developer.nvidia.com) [↗](#)

Quantumcomputers zullen AI verbeteren (quantinuum.com) [↗](#)

Vooraanstaande wetenschappers dringen er bij de EU op aan om te investeren in de combinatie van AI en quantumtechnologie om het concurrentievermogen te versterken (qt.eu) [↗](#)

Gedistribueerde kwaliteitscontrole

IonQ koopt IDQ (idquantique.com) [↗](#)

Photonic demonstreert gedistribueerde verstrengeling tussen modules, wat een belangrijke mijlpaal betekent op weg naar schaalbare quantumcomputers en -netwerken (photonic.com) [↗](#)

Quantum datacenter alliance (qda.global) [↗](#)

Gedistribueerde quantumcomputing (quera.com) [↗](#)

Aangetoonde netwerkverbinding tussen quantumprocessors over grootstedelijke afstanden (qutech.nl) [↗](#)

IMPACT



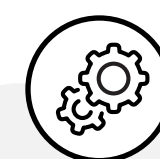
Onderwijs

Er is behoefte aan professionals met meer specifieke vaardigheden en interdisciplinaire kennis.



Onderzoek

- Het verbeteren van de robuustheid van quantumcomputers zal de belangstelling voor quantumcomputers stimuleren.
- Door QC te integreren met HPC wordt het voor HPC-gebruikers gemakkelijker om er gebruik van te maken.
- Het onderzoek naar QC&AI zal toenemen.



Operations

- Begin na te denken over en werk aan de integratie van quantumcomputing in de bestaande infrastructuur en het bestaande ecosysteem.
- Begin na te denken over hoe je toegang kunt geven tot onderwijs, onderzoek en de ontwikkeling van use cases.
- Ontwikkel quantumexpertise voor operationeel beheer en ondersteuning van gebruikers.



TREND #5

Integratie van quantumsensing in andere domeinen

Publieke waarden

	Autonomie	Onafhankelijkheid Keuzevrijheid Pluriformiteit
	Rechtvaardigheid	Gelijkwaardigheid Integriteit Toegankelijkheid
	Menselijkheid	Integriteit Verantwoordelijkheid Duurzaamheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Digitale transformatie; Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit; Politieke/strategische inzet van kennis; Kritieke infrastructuur; Regelgeving en naleving (compliance)

Quantumsensing benut de extreem hoge gevoeligheid van quantumdeeltjes om grootheden te meten die met conventionele sensoren niet waarneembaar zijn, of waarvoor anders veel tijd en aanzienlijke middelen nodig zouden zijn. Binnen de drie kerngebieden van quantumtechnologie is quantumsensing het meest volwassen, met reeds meerdere systemen commercieel beschikbaar. Volgens experts zal de wereldwijde markt voor quantumsensoren naar verwachting groeien tot circa €6 miljard in 2035 en rond de €15 miljard in 2040.

In recente jaren hebben quantumsensoren hun waarde bewezen in uiteenlopende toepassingen, waaronder medische beeldvorming (MRI), spectroscopie voor materiaal- en chemische analyses, positiebepaling, navigatie en tijdsbepaling (position, navigation & timing; PNT), detectie van gaslekken, identificatie van doelwitten op afstand en het gebruik van gravimeters en magnetometers ter ondersteuning van sectoren zoals de mijnbouw en de olie- en gasindustrie.



Aangezien quantumsensoren hun nut reeds in tal van sectoren hebben bewezen en tegelijkertijd kleiner, goedkoper en betrouwbaarder worden, wordt verwacht dat hun toepassingsmogelijkheden de komende jaren sterk zullen toenemen.

SIGNALLEN

Meer voorbeelden van use cases

Quantumsensing: klaar om een enorm potentieel te realiseren in vele sectoren (mckinsey.com) [↗](#)

Detectie van ondergrondse infrastructuur (tcs.com) [↗](#)

Gezondheidszorg (qtsense.com) [↗](#)

Magnetische velddetectie (bosch-quantumsensing.com) [↗](#)

Positionering en timing (q-ctrl.com) [↗](#)

Het meten van magmastromen onder vulkanen (exail.com) [↗](#)

AI kan helpen bij het verkrijgen van betere, zeer nauwkeurige gegevens door quantumsensoren (postquantum.com) [↗](#)

“Vier van de meest veelbelovende toepassingsgebieden voor quantumsensing zijn positiebepaling, navigatie en tijdsbepaling (PNT), gezondheidszorg, halfgeleiderproductie en ondergrondse exploratie. In al deze sectoren is in Europa een groeiende stroom van startups waarneembaar.”

- dr. Clara Osorio Tamayo, QDNL CAT3-programmaleider, TNO-wetenschapper

Verslag van QED-C (quantumconsortium.org) [↗](#)

Kijken naar praktijkvoorbeelden van quantumsensoren (insidequantumtechnology.com) [↗](#)

IMPACT



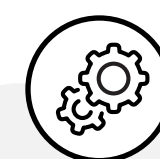
Onderwijs

- Er is meer bewustzijn nodig over quantumsensoren.
- Bepaalde quantumsensoren kunnen eenvoudig tot prototypen worden ontwikkeld, wat ze bijzonder geschikt maakt voor onderwijs- en trainingsdoeleinden.
- Quantumsensing betreft het zeer nauwkeurig meten van grootheden. Het is essentieel om de discussie te voeren over de politieke, ethische en maatschappelijke implicaties.



Onderzoek

- Vooruitgang wordt verwacht in bestaande toepassingsgebieden van quantumsensoren, zoals de gezondheidszorg, medische sector, aardwetenschappen en astronomie.
- Er zullen nieuwe onderzoeksdomeinen ontstaan die quantumsensing zullen benutten.
- Bovendien worden nieuwe toepassingen van reeds beschikbare technologie ontwikkeld.



Operations

Begin na te denken over de aanschaf van quantumsensorsystemen voor onderzoek en onderwijs.



Wildcards

1. Vooruitgang in hersengestuurde technologieën

2. Cyberfysieke technologie vraagt om mentaal weerbare mensen

3. De opkomst van humanoïde robots

4. Slimme regeneratieve implantaten in traumazorg

5. Een groeiende behoefte aan chipsoevereiniteit in Europa



Inleiding

Voortbouwend op de vorige thematische hoofdstukken biedt dit wildcard-hoofdstuk een breder perspectief door een verscheidenheid aan opkomende en potentieel disruptieve trends (de wildcards) te delen om de SURF-coöperatie te inspireren.

Onze samenleving is gebaseerd op een belangrijk uitgangspunt: de mens. Met de vooruitgang op het gebied van quantum-, connectiviteits- en AI-technologieën is het van cruciaal belang om na te denken over hoe deze en andere technologieën ons als individuen zullen beïnvloeden. Een samenleving waarin individuen niet zowel lichamelijk als geestelijk gezond zijn, presteert slechter en zorgt dat individuen zich minder verbonden voelen met elkaar en met de samenleving. In de afgelopen 100 jaar hebben antibiotica, robotchirurgie en diagnostische technologieën (zoals MRI- of CT-scanners) ons vermogen om een groot aan-

tal lichamelijke aandoeningen te behandelen verbeterd. Deze trend van innovatie in de gezondheidszorg zet zich onverminderd voort.

Volgens een recent onderzoek hebben bijna 800.000 mensen [🔗](#) in Nederland een heup- of knieprothese gekregen. Slimme implantaat-technologieën zullen de prestaties, levensduur en mobiliteitskwaliteit van toekomstige heup- of knieprothesen verbeteren.

Technologieën maken nieuwe ervaringen mogelijk, en hersen-computerinterfaces (brain-computer interfaces, BCI's) – die bestaan uit sensoren om hersengolven te meten – zullen mensen helpen om met technologieën te communiceren, zowel voor ontspanning als in de gezondheidszorg. Er zijn proeven gedaan met exoskeletten die worden aangestuurd door BCI's, en deze lijken de mobiliteitsmogelijkheden voor mensen met ruggenmergletsels te gaan veranderen.

Slimme implantaten en BCI's voor exoskeletten richten zich op de fysieke gezondheid van het individu, maar in dit tijdperk van nieuwe technologieën is het ook van cruciaal belang om rekening te houden met het welzijn. BCI's kunnen technologieën aansturen om de mobiliteit te verbeteren, maar ze kunnen ook mensen met het locked-in-syndroom helpen om met de wereld om hen heen te communiceren. Naarmate we ons echter steeds meer onderdompelen in dergelijke cyberfysieke technologieën en de online wereld, is het van cruciaal belang dat er protocollen worden opgesteld om digitaal welzijn te bevorderen en te ondersteunen. Het individu heeft zowel een gezond lichaam als een gezonde geest nodig.

In een wereld die door en voor mensen is ontworpen, is het niet verwonderlijk dat de mensheid robottechnologieën naar zijn eigen evenbeeld creëert. Humanoïde robots – robots

die qua vorm en uiterlijk op mensen lijken – kunnen bijvoorbeeld worden ingezet in de industriële productie en in omgevingen die te zwaar zijn voor het kwetsbare menselijk lichaam. Massale inzet in de samenleving laat nog even op zich wachten, maar de humanoïden komen eraan.

Om dergelijke mensgerichte technologieën in de Europese context te kunnen ontwikkelen en introduceren, zijn verbeteringen op het gebied van computerplatforms nodig. Gezien de voortdurende veranderingen in het geopolitieke landschap moet Europa concurrerend zijn op het gebied van chips, zodat het technologische vooruitgang kan blijven boeken. Zonder betrouwbare en geavanceerde computerchips zal ons vermogen om de samenleving voor de mensheid, inclusief de natuur, te verbeteren, stagneren.

TREND #1

Vooruitgang in hersengestuurde technologieën

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Rekenschap Transparantie Integriteit
	Menselijkheid	Veiligheid Welzijn

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Bestuurders

Regelgeving en naleving (compliance); Geestelijke gezondheid en welzijn; Individualisering en empowerment; Automatisering en AI; Biotechnologie; Cybersecurity en vertrouwen; Digitale transformatie

Het besturen van handelingen of technologieën via een digitale interface met behulp van gedachten wordt al tientallen jaren onderzocht. Op dit moment wordt verwacht dat deze hersen-computerinterfaces (BCI's) geleidelijk op de markt zullen komen.

Niet-invasieve BCI's detecteren hersenactiviteiten via elektro-encefalografie (EEG)-sensoren die op het schedeloppervlak worden geplaatst, waardoor ze kosteneffectief en draagbaar zijn. Invasieve BCI's daarentegen vereisen de implantatie van sensoren op of nabij het hersenweefsel en worden voornamelijk voor medische doeleinden gebruikt.

Bedrijven in de VS en China lopen voorop in de marktontwikkeling, met toepassingen in de gezondheidszorg, entertainment en militaire sector.

Technologische vooruitgang, zoals verbeterde signaalverwerking en multi-sensorintegratie, zou de mogelijkheden van BCI's verder kunnen verbeteren.

De maatschappelijke discussie over BCI's moet plaatsvinden en gaan over ethische kwesties zoals privacy, autonomie en gelijkwaardigheid.



Auteurs

Erik Knol (Regieorgaan SIA), Barry Fitzgerald (TU Eindhoven), Mark Cole (SURF)

SIGNALEN

Hersen-computerinterfaces verder uitgelegd

De geschiedenis, huidige stand van zaken en toekomstmogelijkheden van de niet-invasieve hersen-computerinterfaces ([sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)) [↗](#)

Van visie naar realiteit: beloften en risico's van hersen-computerinterfaces (consilium.europa.eu) [↗](#)

De toekomst van BCI: doorbraken, onderwijs en uitdagingen (ru.nl) [↗](#)

Bedrijven en marktontwikkelingen

Top 10 van wereldwijde bedrijven op het gebied van hersen-computerinterfaces in 2025 (alltechmagazine.com) [↗](#)

Hersen-computerinface wint aan populariteit in China (chinadaily.com.cn) [↗](#)

Toepassingsgebieden en ontwikkelingen

Introductie van hersen-computerinterfaces voor onderwijs en onderzoek: een nieuwe kijk op de interactie tussen mens en computer, in positieve en negatieve zin (surf.nl) [↗](#)

Invasieve hersen-computerinterface voor motorisch herstel bij ruggenmergletsel: een systematisch overzicht ([sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)) [↗](#)

Passieve hersen-computerinterfaces voor verbeterde interactie tussen mens en robot ([frontiersin.org](https://www.frontiersin.org)) [↗](#)

Een volledig geïmplanteerde hersen-computerinterface voor een persoon met het locked-in-syndroom (uu.nl) [↗](#)

Maatschappelijke en ethische aspecten

De bescherming van mentale privacy in de neurowetenschappen: maatschappelijke, juridische en ethische uitdagingen (europarl.europa.eu) [↗](#)

Decentralisering van het zelf – ethische overwegingen bij het gebruik van gedecentraliseerde webtechnologie voor directe herseninterfaces (link.springer.com) [↗](#)

Ethische overwegingen bij het gebruik van hersen-computerinterfaces voor cognitieve verbetering (journals.plos.org) [↗](#)

“Om de kracht van BCI verantwoord en vruchtbaar te kunnen benutten, is het noodzakelijk om inzicht te hebben in de werking en beperkingen ervan.”

- Prof. dr. Anne-Marie Brouwer, TNO Human Performance en Radboud Universiteit, Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour

IMPACT



Onderwijs

- De basisprincipes en implicaties van BCI's zijn relevante onderwerpen om op te nemen in leerplannen voor neuro- en cognitieve wetenschappen, medische wetenschappen en gezondheidszorg, techniek en digitalisering, sociologie en ethiek.
- BCI's kunnen ook worden gebruikt in onderwijsprogramma's voor leerdoeleinden (experimenten), hoewel voor bepaalde versies van de technologie mogelijk kapitaal-investeringen nodig zijn.



Onderzoek

- Onderwerpen op het gebied van hersenonderzoek die verband houden met neurotechnologieën en neurodata, experimentele toepassingen en de maatschappelijke implicaties, met inbegrip van ethische en juridische aspecten, zijn voor de hand liggende onderzoeksonderwerpen.
- De verwachte vooruitgang op het gebied van BCI's zal in de toekomst leiden tot een toename van het gebruik ervan als onderzoeksinstrument voor onderzoeksactiviteiten. Een onderzoeker kan bijvoorbeeld niet-invasieve BCI-technologieën gebruiken voor metingen en validatie. Uiteraard moeten dergelijke activiteiten worden goedgekeurd door een ethische commissie.



Operations

- BCI's en andere neurotechnologieën ontwikkelen zich snel en roepen daarbij verschillende relevante maatschappelijke en ethische vragen op.
- Instellingen zullen moeten nadenken over het institutionele beleid en de richtlijnen voor het gebruik van deze technologieën, en over hoe neurodata kan worden gebruikt voor onderwijs en onderzoek.



TREND #2

Cyberfysieke technologie vraagt om mentaal weerbare mensen

Publieke waarden

	Autonomie	Privacy
	Rechtvaardigheid	Rekenschap Transparantie
	Menselijkheid	Veiligheid Welzijn

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Individualisme en empowerment; Geestelijke gezondheid en welzijn; Dynamiek binnen gemeenschappen en maatschappelijke samenhang; Automatisering en AI; Connectiviteit en interactie; Cybersecurity en vertrouwen; Ideologische polarisatie; Regelgeving en naleving (compliance); Digitale transformatie

De voortdurende digitale transformatie vraagt van zowel individuen als de samenleving een ongekend vermogen tot cognitieve aanpassing.

De convergentie van zeer ingrijpende cyber-fysieke technologieën zoals hersen-computerinterfaces (BCI), kunstmatige intelligentie en extended reality kan en zal ons mentale en fysieke welzijn blijven beïnvloeden. Die technologieën roepen vragen op over hun alomtegenwoordige invloed, met name in de context van toepassingen met sociale media.

Deze nieuwe realiteit maakt dringende maatregelen noodzakelijk, zoals digitale detoxen, ethische ontwerpprincipes, overheidsregulering en manieren voor het beheersen van digitale overbelasting, allemaal gericht op het beschermen van de privacy en de psychologische gezondheid van individuen en de samenleving.

Door mentale gezondheidsproblemen aan te pakken en de groeiende behoefte van online

platforms aan onze persoonlijke data tegen te gaan, zullen deze maatregelen bijdragen aan het bevorderen van verantwoorde, mensgerichte technologie die menselijke waarden beschermt.

Uiteindelijk willen we ervoor zorgen dat technologie ons welzijn en zelfbeeld ondersteunt in plaats van ondermijnt.

**Auteurs**

Mark Cole (SURF), Alina Kadlubsky (Open XR Europe), Erik Knol (Regieorgaan SIA), Tijmen Leurs (MBO Digitaal)

SIGNALEN

Mensgericht ontwerp van digitale technologieën en toepassingen

Inzicht in mensgerichte AI: een overzicht van de bepalende elementen en een onderzoeksagenda (tandfonline.com) [↗](#)

Menselijke waarden integreren in het ontwerp van mixed reality-technologieën (ieeexplore.ieee.org) [↗](#)

Verantwoorde ontwikkeling en toepassing van XR-technologieën door het Europese project XR4HUMAN (xr4human.eu) [↗](#)

Rapport over trends en benchmarking in de virtuele wereld door het Europese project OpenVerse, dat als visie heeft om inclusieve, open en ethisch verantwoorde Europese virtuele werelden te creëren (open-verse.eu) [↗](#)

Digitale transformatie in het onderwijs

De impact van digitale technologieën op het onderwijs ontrafeld: literatuuronderzoek en beoordelingskader (publicaties.jrc.ec.europa.eu) [↗](#)

AI-rapport van de European Digital Education Hub's Squad over kunstmatige intelligentie in het onderwijs (op.europa.eu) [↗](#)

Een uitgebreid overzicht van belangrijke cyberfysieke systemen en een beoordeling van de uitdagingen op het gebied van onderwijs (ieeexplore.ieee.org) [↗](#)

Impact van digitale technologieën op het welzijn

De impact van digitale technologieën op het welzijn: belangrijkste inzichten uit de literatuur (oecd.org) [↗](#)

Welzijn en hersen-computerinterface in use cases (researchgate.net) [↗](#)

IMPACT



Onderwijs

Cyberfysieke technologieën hebben het potentieel om het onderwijs te transformeren door immersieve, gepersonaliseerde leerervaringen mogelijk te maken. Hoewel ze de betrokkenheid, toegankelijkheid, het begrip en de kennisverwerving kunnen verbeteren, brengen ze ook nieuwe privacy- en veiligheidskwesties met zich mee. Ethisch gebruik is essentieel om de voordelen ervan te benutten en tegelijkertijd de rechten en het welzijn van studenten/docenten te beschermen.



Onderzoek

- BCI en andere cyberfysieke technologieën kunnen een revolutie teweegbrengen in het onderzoek door immersieve gegevensverzameling mogelijk te maken en nieuwe wegen te openen voor het onderzoeken van het brein en menselijk gedrag.
- Ondanks het enorme potentieel voor innovatief onderzoek, brengen cyberfysieke technologieën ook de noodzaak met zich mee van sterkere cyberbeveiliging, ethische richtlijnen en vooruitgang in ons begrip van mensenrechten.
- Toekomstig onderzoek moet worden gestuurd door een interdisciplinaire focus om deze technologieën te beveiligen en privacykwesties aan te pakken.



Operations

- Toekomstige campusomgevingen kunnen worden getransformeerd door immersief leren, virtuele laboratoria en verbeterde toegankelijkheid.
- De cyberfysieke transformatie zal voor instellingen uitdagingen op het gebied van privacy, ethiek en veiligheid met zich meebrengen, waardoor nieuw beleid nodig is. Om de voordelen voor de bredere gemeenschap te maximaliseren, moeten campussen waarborgen ontwikkelen die een veilige, rechtvaardige en ethische integratie van deze technologieën garanderen.

TREND #3

De opkomst van de humanoïde robots

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Rekenschap Transparantie Integriteit Gelijkwaardigheid
	Menselijkheid	Veiligheid Respect Betekenisvol contact Welzijn

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Demografische verschuiving (vergrijzing); Geestelijke gezondheid en welzijn; Automatisering en AI; Connectiviteit en interactie; Servicegerichte en waardegedreven economieën; Regelgeving en naleving (compliance)

Humanoïde robots, gebouwd om qua uiterlijk en bewegingen op mensen te lijken, helpen de productiviteit te verhogen en het tekort aan arbeidskrachten in verschillende sectoren aan te pakken. Ze zijn zeer flexibel, kunnen zich in complexe omgevingen bewegen en zijn bedreven in het hanteren van voorwerpen met verschillende vormen en gewichten. Door hun mensachtige uiterlijk worden ze ook gemakkelijker geaccepteerd in bijvoorbeeld ziekenhuizen, verzorgingstehuizen en scholen.

Sinds de jaren '80 hebben de ontwikkelingen op het gebied van artificial intelligence en robotica de mogelijkheden drastisch verbeterd, wat heeft geleid tot grote investeringen van bedrijven als Tesla, Boston Dynamics en UBTech, om er een paar te noemen.

Uitdagingen zoals hoge investeringskosten, energie-efficiëntie, operationele veiligheid en geavanceerde software beperken echter nog steeds het wijdverbreide gebruik ervan.

Ondanks deze obstakels worden humanoïde robots steeds vaker overwogen voor taken die risico's voor mensen minimaliseren of tekorten aan arbeidskrachten opvullen.



Auteurs

Steven van Roon (Universiteit Twente), Erik Knol (Regieorgaan SIA), Mark Cole (SURF)

Bijdragers

Mark Vlutters & Luc Schoot Uiterkamp (Universiteit Twente)

SIGNALEN

Markontwikkelingen met betrekking tot humanoïde robotica

Standpuntnota van de International Federation of Robotics: Humanoïde robots – visie en realiteit (ifr.org) [↗](#)

De toekomst van robotica in 2035: inzichten van experts uit de industrie (hexagon.com) [↗](#)

Humanoïde robots - Game changer of hype? (ipa.fraunhofer.de) [↗](#)

“Een humanoïde wordt pas interessant wanneer zijn vormfactor daadwerkelijk van belang is, bijvoorbeeld bij (sociale) interactie of wanneer zijn taakgeneralisatie voldoende is om te kunnen functioneren in de alledagelijkse menselijke wereld. De menselijke wereld is immers afgestemd op de menselijke vormfactor.”

- Dr. ir. Mark Vlutters, universitair docent Biomechatronica en Revalidatietechnologie, Universiteit Twente

Reflecties over technologieën, innovatie en trends met betrekking tot humanoïde robots

Humanoïde robots zoals Tesla Optimus en de toekomst van toeleveringsketens: verbetering van efficiëntie, duurzaamheid en dynamiek van de arbeidsmarkt (mdpi.com) [↗](#)

De realiteit maakt een einde aan de hype rond humanoïde robots: de obstakels voor het opschalen van humanoïde robotica waar niemand het over heeft (spectrum.ieee.org) [↗](#)

Tussen fascinatie en ongemak: de nieuwe generatie humanoïde robots (ndion.de) [↗](#)

Willen mensen echt humanoïde robots in huis hebben? (spectrum.ieee.org) [↗](#)

Maatschappelijke reflecties

AI-robots en humanoïde AI: overzicht, perspectieven en toekomstige richtingen (ui.adsabs.harvard.edu) [↗](#)

Artefacten van verandering: het disruptieve karakter van humanoïde robots buiten classificatiekwesties om (link.springer.com) [↗](#)

De robotrechten- en -verantwoordelijkheden-schaal: ontwikkeling en validatie van een meetinstrument voor het begrijpen van percepties van de rechten en verantwoordelijkheden van robots (tandfonline.com) [↗](#)

IMPACT



Onderwijs

- In het beroeps- en wetenschappelijk onderwijs moet educatie op het gebied van robotica wellicht verschuiven van gescheiden trajecten (bijvoorbeeld technologie, psychologie of economie) naar een meer interdisciplinaire benadering. Hiermee leiden we niet alleen technische specialisten op, maar ook flexibele innovators die in staat zijn om vooruitgang en implementatie op verschillende gebieden te stimuleren voor toepassingen in de praktijk.
- Humanoïde robots kunnen uiteindelijk bijdragen aan het onderwijs door nieuwe vormen van ondersteuning te bieden voor zowel lesgeven als leren.



Onderzoek

- Humanoïde robotica verbindt een breed scala aan onderzoeksdomen met elkaar. Nu humanoïden hun intrede doen op de werkvloer, moet het onderzoek verder gaan dan technologieën en kostenbesparingen en zich richten op bredere toepassingen: het op peil houden van de productiviteit, het mogelijk maken van samenwerking en het heroverwegen van processen en (organisatorische) systemen.
- Onderzoek naar humanoïden moet zich niet alleen richten op wat humanoïden kunnen doen, maar ook op hoe ze kunnen worden geaccepteerd, gebruikt en waardevol kunnen zijn. Humanoïden vormen een proeftuin voor hoe we technologie, mensen en de samenleving met elkaar verbinden, en hoe we de toekomst van werk, leren en innovatie kunnen vormgeven.



Operations

- Instellingen kunnen mensgerichte ontwikkeling ondersteunen en zorgvuldig overwegen om humanoïde robots in te zetten door samen te werken met technologische ontwikkelaars, organisaties die gebruikmaken van deze technologie en andere belanghebbenden.
- Instellingen zouden kunnen gaan nadenken over hoe zij kunnen bijdragen aan de ontwikkeling en toekomst van humanoïde robots op de werkvloer, in het onderwijs en in de samenleving als geheel.

TREND #4

Slimme regeneratieve implantaten in traumazorg

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Privacy
	Rechtvaardigheid	Transparantie Rekenschap Gelijkwaardigheid Inclusie Integriteit
	Menselijkheid	Persoonlijke ontwikkeling Betekenisvol contact Veiligheid Welzijn Respect

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

Demografische verschuiving: Vergrijzing; Biotechnologie; Technologische vooruitgang en rekenkracht; Connectiviteit en interactie; Automatisering en AI; Welzijn

Traumapatiënten hebben uitgebreide behandelingen en de grootste aandacht nodig. In Nederland worden jaarlijks ongeveer 80.000 traumapatiënten behandeld.

Wanneer een traumapatiënt bijvoorbeeld in het ziekenhuis aankomt met meerdere botbreuken, gescheurde bloedvaten en beschadigde organen, zullen er meerdere operaties nodig zijn voor inwendige verwondingen en immobilisatie van gebroken botten met een gipsverband of een spalk.

Er worden nu zogenaamde slimme implantaten ontwikkeld die botgroei kunnen stimuleren, weefselherstel kunnen bevorderen en het genezingsproces van patiënten in real-time kunnen volgen. Minuscule monitoring devices kunnen worden aangedreven door de bloedstroom, spierbewegingen of zelfs door de ademhaling.

Bovendien kunnen slimme implantaten voor het herstel en de ondersteuning van skelet- en spierweefsel worden gemaakt van biologisch afbreekbare materialen, die

vervolgens op natuurlijke wijze door de patiënt worden uitgescheiden. Hierdoor is er geen verdere invasieve chirurgie nodig om de implantaten te verwijderen.



Auteurs

Barry Fitzgerald & Linda Chen-Zijlstra (TU Eindhoven)

SIGNALEN

Onderzoek naar slimme implantaten

Materiaalwetenschappers, celbiologen, weefselingenieurs en medische wetenschappers werken samen aan de regeneratie van weefsel- en orgaanfuncties met intelligente, levensechte materialen (tue.nl) [↗](#)

Geometrie-gestuurde botvorming. Geometrie-gestuurde osteo-inductie wordt mogelijk gemaakt door snelle, uiterst nauwkeurige additive manufacturing (tue.nl) [↗](#)

Slimme implantaten in de gezondheidszorg voor de behandeling van ziekten, het monitoren van het herstel van patiënten en het herstellen van orgaanfuncties worden ontwikkeld door tal van organisaties over de hele wereld (sciencedirect.com) [↗](#)

Meer dan weefselvervanging: de opkomende rol van slimme implantaten in de gezondheidszorg (research.umcutrecht.nl) [↗](#)

Biomechanica en regeneratieve geneeskunde vereisen een interdisciplinaire aanpak.

Project Brave streeft naar de ontwikkeling van een innovatief en slim implantaat voor ischemische of coronaire hartziekten (projectbrave.eu) [↗](#)

“Slimme implantaattechnologieën kunnen de levenskwaliteit aanzienlijk verbeteren en zorgverleners meer inzicht geven in hoe ze het herstel kunnen versnellen en de behandelingsstrategieën voor patiënten kunnen optimaliseren.”

– Dr. Linda Chen-Zijlstra, onderzoeks-IT-consultant, Afdeling Biomedische Technologie, TU Eindhoven

IMPACT



Onderwijs

- Innovatie op het gebied van slimme implantaatbehandelingen vereist en behoeft samenwerking tussen verschillende disciplines: geneeskunde, biologie, scheikunde, natuurkunde, materiaalkunde en techniek (waaronder bijvoorbeeld datawetenschappen voor simulaties). Als gevolg daarvan moeten studenten een breder scala aan vakgebieden en perspectieven bestuderen.
- Studenten krijgen de kans om samen te leren, nauwer samen te werken en een beter begrip te ontwikkelen van hoe verschillende disciplines met elkaar verbonden zijn. Traditionele onderwijsmodellen (bijvoorbeeld in de geneeskunde en gezondheidszorg) zullen moeten evolueren: ze moeten flexibeler worden en studenten in staat stellen om gemakkelijker grenzen tussen vakgebieden en disciplines te overbruggen.
- Interdisciplinair denken voor de uitdagingen van toekomstige slimme implantaatgebaseerde gezondheidszorg en technologieën zou op lange termijn de loopbaanontwikkeling moeten verbreden.



Onderzoek

- Er wordt al veel onderzoek gedaan naar slimme implantaten, zowel op universiteiten als in onderzoekscentra van ziekenhuizen. Zo zijn er bijvoorbeeld slimme botimplantaten die bedoeld zijn om de traditionele, inerte implantaten van metaal die momenteel bij behandelingen worden gebruikt te vervangen.
- De klinische implementatie van dergelijke slimme implantaten zal een gestructureerd stappenplan moeten volgen, terwijl belangrijke kwesties zoals de energievoorziening van slimme implantaten die worden gebruikt voor monitoring en het begrijpen van hoe natuurlijke biologische cellen in het lichaam omgaan met slimme implantaten, verder onderzoek vereisen.

TREND #5

Een groeiende behoefte aan chipsoevereiniteit in Europa

Publieke waarden

	Autonomie	Keuzevrijheid Onafhankelijkheid
	Rechtvaardigheid	Duurzaamheid Transparantie Verantwoordelijkheid Integriteit Gelijkwaardigheid Inclusie
	Menselijkheid	Veiligheid

Volwassenheid

WATCH

PLAN

ACT

Drivers

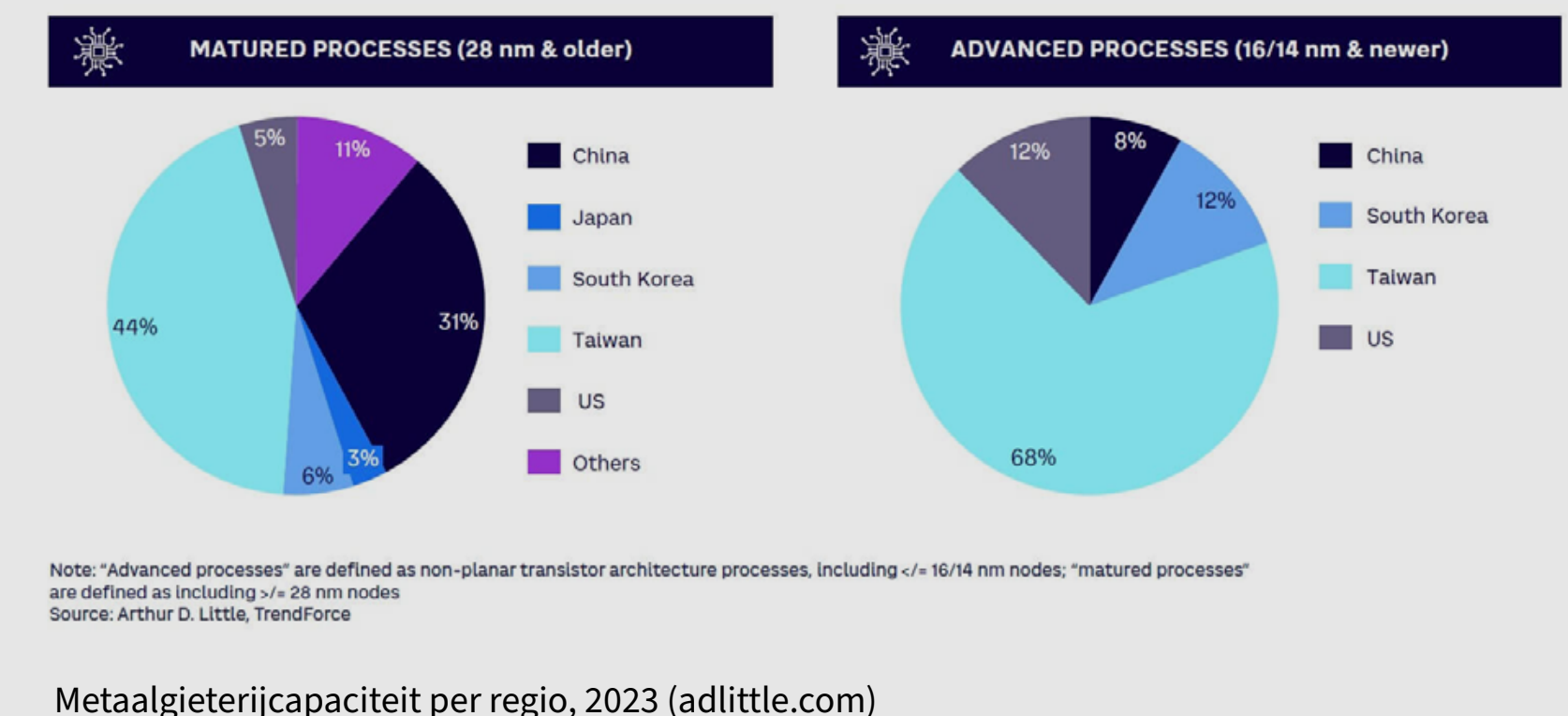
Geopolitiek en (digitale) soevereiniteit; Compliance en regelgeving; Kritieke infrastructuur; Automatisering en AI; Technologische vooruitgang en computation; Digitale transformatie; Wereldhandel en handelsheffingen

Praktisch alle apparaten hebben tegenwoordig chips nodig om te kunnen functioneren, en in het geval van AI is er meer gespecialiseerde hardware (chips) nodig om aan de vraag te kunnen voldoen. Het grootste deel van de chipfabricage vindt plaats in Azië, en gezien de huidige geopolitieke dynamiek staat de toeleveringsketen voor chips onder druk. In combinatie met de schaarste aan grondstoffen die worden gebruikt voor de fabricage van klassieke (en AI-)chips, heeft dit ertoe geleid dat verschillende landen de toeleveringsketen heroverwegen.

Een van de ontwikkelingen op dit gebied is de European Chips Act (ECA) van de Europese Commissie, die in 2023 is ingevoerd. Het ECA-kader zal worden herzien, mede dankzij een bredere raadpleging van belanghebbenden eind 2025, om een Europees microchip-ecosysteem te waarborgen.

Een andere opvallende verschuiving is te zien op het gebied van onderzoek en ontwikkeling (R&D). Steeds meer transdisciplinair onderzoek, ook buiten de universiteiten, gebeurt in

samenwerking met industriële partners om chips te herontwerpen en nieuwe concepten te ontwikkelen. Daarbij wordt gekeken naar de volledige ontwikkelingsketen (van materialen en architecturen tot software en geheugen) voor efficiëntere en intelligentere apparaten.



Auteurs

Barry Fitzgerald (TU Eindhoven) & Mark Cole (SURF)

Bijdragers

Prof. dr. Wilfred van der Wiel (Universiteit Twente)

SIGNALEN

Europa's streven om microchips te maken

Een overeenkomst tussen alle EU-lidstaten, die zich allemaal aansluiten bij de Semicon Coalition om het technologische leiderschap van het continent veilig te stellen.

- overheid.nl 
- advies.eib.org 

De Europese Commissie heeft een openbare raadpleging gelanceerd over de huidige ECA om de huidige tekortkomingen ervan aan te pakken in het licht van de recente ingrijpende veranderingen in de sector (september 2025)
(digitale-strategie.ec.europa.eu) 

De EU-chipwet treedt in september 2023 in werking
(ec.europa.eu) 

digital-strategy.ec.europa.eu 

Investerings in AI-chips

ASML investeert 1,3 miljard euro in het Franse bedrijf Mistral AI (asml.com) 

fintechweekly.com 

De Europese Investeringsbank (EIB) werkt aan een nieuw initiatief om tegen 2027 70 miljard euro op te halen voor AI en halfgeleiders (reuters.com) 

“Echte chipsoevereiniteit betekent meer dan alleen fabrieken – het gaat om het creëren van de volgende generatie intelligente hardware. Europa kan een voortrekkersrol spelen op het gebied van hersengeïnspireerd, energie-efficiënte computing.”

– Prof. dr. Wilfred G. van der Wiel, directeur van het Centrum voor Brain-Inspired Computing (BRAINS) van de Universiteit Twente

Quantum Europe Strategy (Europese quantumwet)

Lancering van de Quantum Europe-strategie van de Europese Commissie op 2 juli 2025, die tot doel heeft Europa tegen het einde van het decennium wereldwijd toonaangevend te maken op het gebied van quantumtechnologie
(digital-strategy.ec.europa.eu) 

qt.eu 

De quantumsprong van Europa – De nieuwe EU-strategie voor quantumtechnologieën tot 2030 (globsec.org) 

De Nederlandse positie in het quantumecosysteem en afstemming op de Europese quantumwet
(hollandhightech.nl) 

SIGNALEN

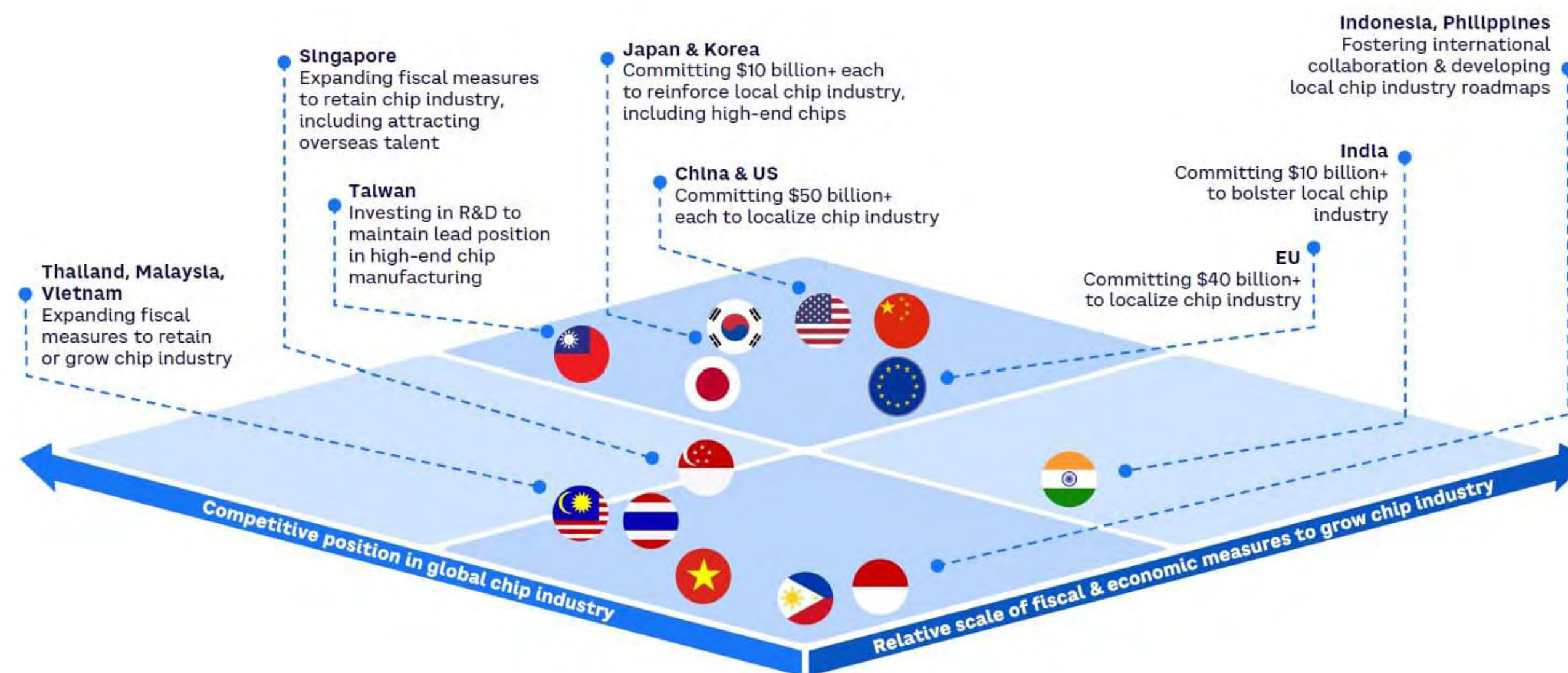
Institutionele beweging

Materiaal dat luistert: doorbraak in Twente op het gebied van spraakherkenning (utwente.nl) [↗](#)

De Technische Universiteit Eindhoven richt een nieuw onderzoeksinstituut op dat zich bezighoudt met onder meer halfgeleider-, quantum- en fotonica-chips, in lijn met recente beleidsinitiatieven zoals de ECA en het Draghi-rapport (tue.nl) [↗](#)

Lancering van het Casimir Instituut aan de Technische Universiteit Eindhoven (tue.nl) [↗](#)

Fiscale maatregelen versus concurrentievermogen in de wereldwijde chipindustrie (adlittle.com) [↗](#)



Source: Arthur D. Little

IMPACT



Onderwijs

- De Europese Chipwet zal de veerkracht en technologische innovatie in de bredere chipindustrie binnen de EU stimuleren. Niettemin zal de impact ervan op innovatie worden beïnvloed door geopolitiek beleid en de wereldwijde technologische concurrentie.
- Talent is nodig om de groei van de EU-chipindustrie vanuit technologisch oogpunt te garanderen, maar dit talent moet zich bewust worden gemaakt van het belang van het EU-beleid en de geo-economische dimensies van het ecosysteem.
- In sommige opleidingen komen deze onderwerpen impliciet aan bod. Door deze onderwerpen echter expliciet te behandelen in speciale modules die een aanvulling vormen op traditionele technische modules, zou een evenwichtiger talentenpool kunnen worden opgeleid. Dit zouden talenten zijn die in staat zijn om te innoveren binnen de chipindustrie en die zich ook bewust zijn van de invloed van geopolitieke veranderingen op hun werkzaamheden.



Onderzoek

- Het streven naar digitale autonomie kan onderzoeksprojecten stimuleren op gebieden die verband houden met de chipindustrie – variërend van processen tot materialen, en van logistiek tot synergie met kunstmatige intelligentie, connectiviteit en gegevensbeheer.
- Werk samen met onderzoekers, industriële partners en de samenleving buiten de universiteiten en in heel Europa om (nieuwe) gebruiksscenario's te ontwikkelen.
- Gespecialiseerde laboratoriumfaciliteiten om nieuwe ontwikkelingen op het gebied van het testen en produceren van chips en kennisoverdracht mogelijk te maken.



Operations

- Talentontwikkeling en huisvesting moeten prioriteit krijgen en worden aangepast om de capaciteit in Nederland op te schalen.
- De implementatie van nieuwe slimme, energiezuinige IoT-apparaten vereist focus op systeemarchitectuur voor toekomstige campusscenario's.
- De transdisciplinaire onderzoeksprojecten vereisen een samenwerking op basis van vertrouwen, waardoor industriële partners toegang krijgen tot kennis.

Colofon

Samen aanjagen van vernieuwing

SURF is de coöperatieve vereniging waarin Nederlandse onderzoeksuniversiteiten, hogescholen, mbo's, universitaire medische centra en onderzoeksinstituten samenwerken om de beste IT voor onderwijs en onderzoek te bieden. We ontwikkelen en leveren betrouwbare, geavanceerde IT-diensten, of kopen deze centraal in tegen gunstige voorwaarden. We werken samen aan nieuwe, innovatieve toepassingen van IT in onderwijs en onderzoek. En we komen samen om kennis, ideeën en expertise uit te wisselen. Zo blijft het Nederlandse onderwijs en onderzoek op topniveau.

Hoofdcontactpersoon

Gül Akcaova (lead futurist
& projectleider)

Projectteam

Mark Cole
Dorien Slot
Sophie Haaijer
Ilse Lindeijer

futuring@surf.nl
www.surf.nl/futuring

Redactie

Gül Akcaova
Mark Cole
Barry W.Fitzgerald (BWScience)
Erik Knol (Qeam)

Bronvermelding

SURF (2025). SURF Tech Trends 2026.
Utrecht.

Grafisch ontwerp

Vrije Stijl

Utrecht, oktober 2025

Auteursrecht

 **4.0 Internationaal**

De tekst, tabellen en illustraties in dit rapport zijn samengesteld door SURF en zijn beschikbaar onder de Creative Commons-licentie Attribution 4.0 International. Meer informatie over deze licentie is te vinden op creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

Dankwoord

We willen graag onze speciale dank uitspreken aan de mensen die hebben bijgedragen aan de realisatie van dit rapport.

Industrie

Dejan Milojicic, HPE Fellow en VP, Hewlett Packard Labs/ voorzitter van IEEE Future Directions

Frank Buytendijk, vooraanstaand vicepresident analist en hoofd onderzoek, Gartner Futures Lab

Frits Grotenhuis, algemeen directeur, Topsector ICT

Govind Balakrishnan, senior vicepresident en algemeen directeur, Adobe

Hans Bos, Security Assurance EU Public Sector, Amazon Web Services (AWS)

Harco Enting, directeur Publieke Sector, SAP

Jennifer Holland, Senior Director Program Management, Google for Education

Jochem de Groot, oprichter van Humanative / auteur van 'Kolonisten van de Cloud'

Martin Svik, vicepresident en vooraanstaand ingenieur NCEE Technical, community leader en CTO Europa, IBM

Ana Varbanescu (Universiteit van Twente & SURF STC)

Anand Sheombar (Hogeschool Utrecht)

Axel Jansen (Vrije Universiteit Amsterdam)

David Groep (Universiteit Maastricht)

Dora Woudstra (Hogeschool Leiden)

Erik Fledderus (Hogeschool Windesheim & PRIO)

Erna Kotkamp (Saxion Hogeschool & SURF CSC-hbo)

Gerard Barkema (Universiteit Utrecht & IPN)

Guido Ongena (Hogeschool Utrecht)

Kasper Maes (Radboud Universiteit)

Leon Sprooten (Vista College & SURF CSC-mbo)

Lynda Hardman (CWI, Universiteit Utrecht & SURF STC)

Maarten Emons (Universiteit van Amsterdam & CSC-wo)

Marcus Specht (TU Delft & SURF STC)

Martijn Kleppe (Koninklijke Bibliotheek & SURF STC)

Martijn Timmer (MBO Digitaal)

Mert Albers (Universiteit Twente & SURF CSC-wo)

Mischa Bekkers (Hogeschool Zeeland & PRIO)

Omar Niamut (TNO)

Patricia Lago (Vrije Universiteit Amsterdam)

Paul Hillman (UMC Maastricht & CSC-umc)

Tijmen Leurs (MBO Digitaal)

Vanessa Abel (Erasmus Universiteit Rotterdam)

SURF

Aïsha de Bruin (stagiaire)

Axel Berg

Corno Vromans

Jamilla van Regteren

John Walker

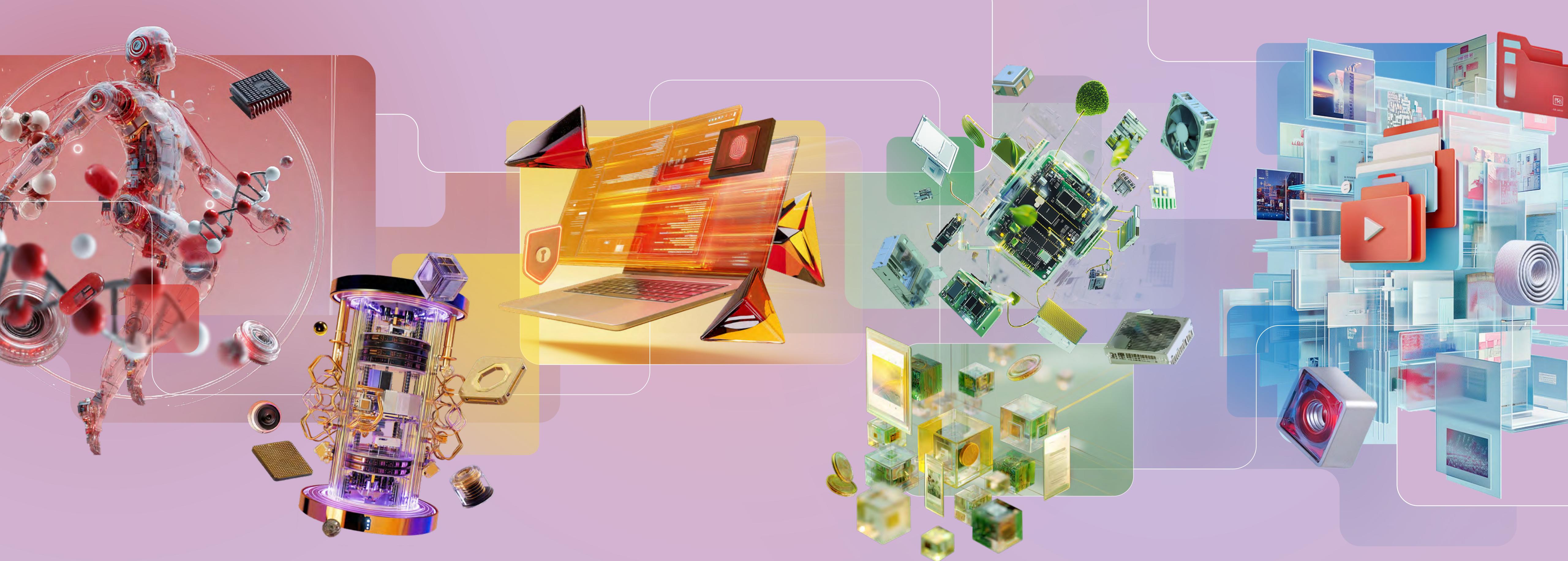
Kevin Ambtman

Özlem Topal

Sebastiaan Wagemans

Tom Rajaonia (stagiair)

Wladimir Mufty



SURF

SURF Utrecht

**Kantoren Hoog Overborch
Hoog Catharijne
Moreelsepark 48
3511 EP Utrecht
+31 88 787 30 00**

SURF Amsterdam

**Science Park 140
1098 XG Amsterdam
+31 88 787 30 00**

futuring@surf.nl
www.surf.nl

