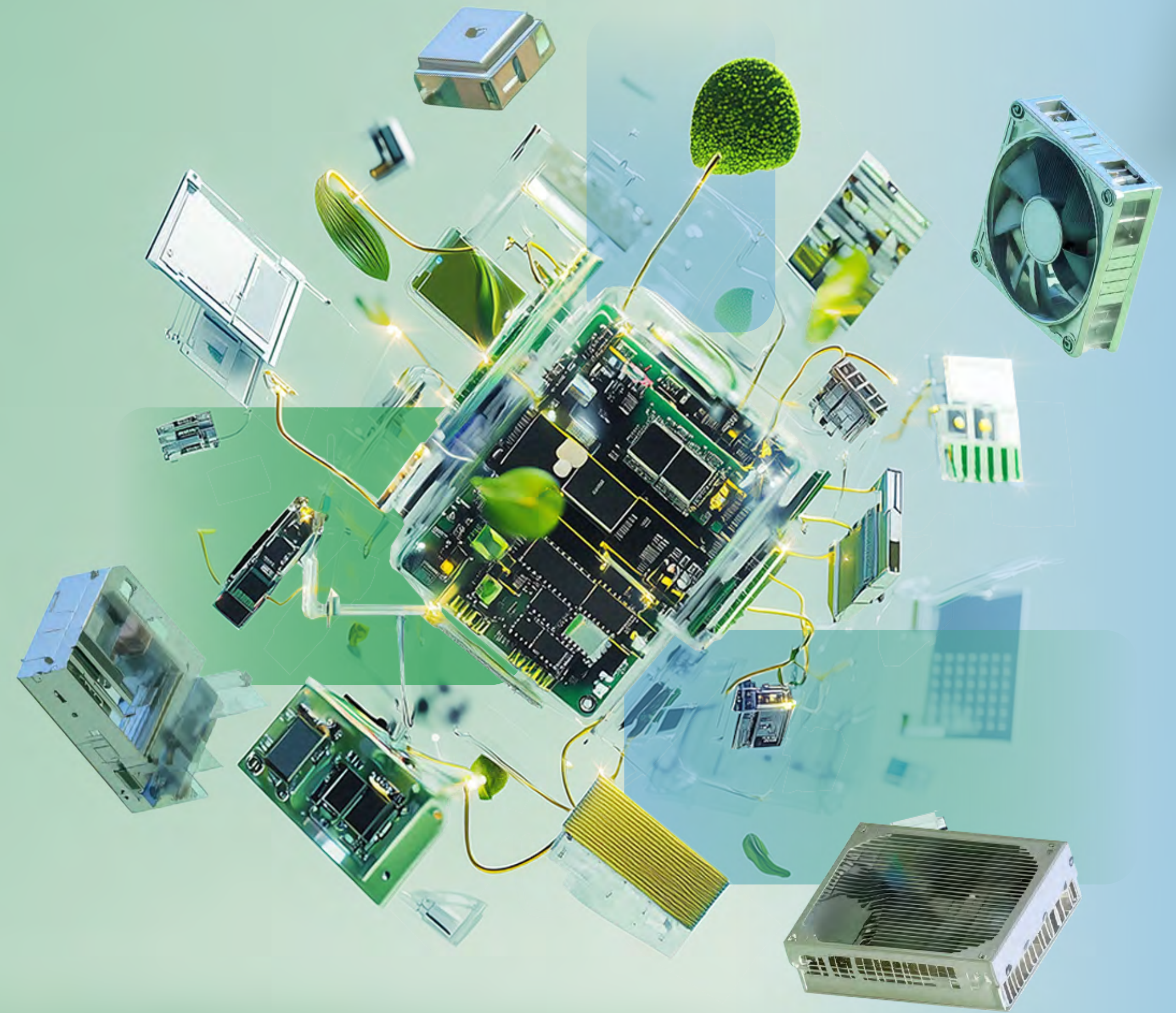


Computing

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 transities 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



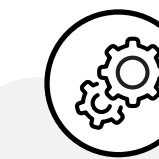
Onderwijs

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



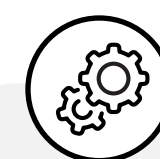
Onderwijs

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.



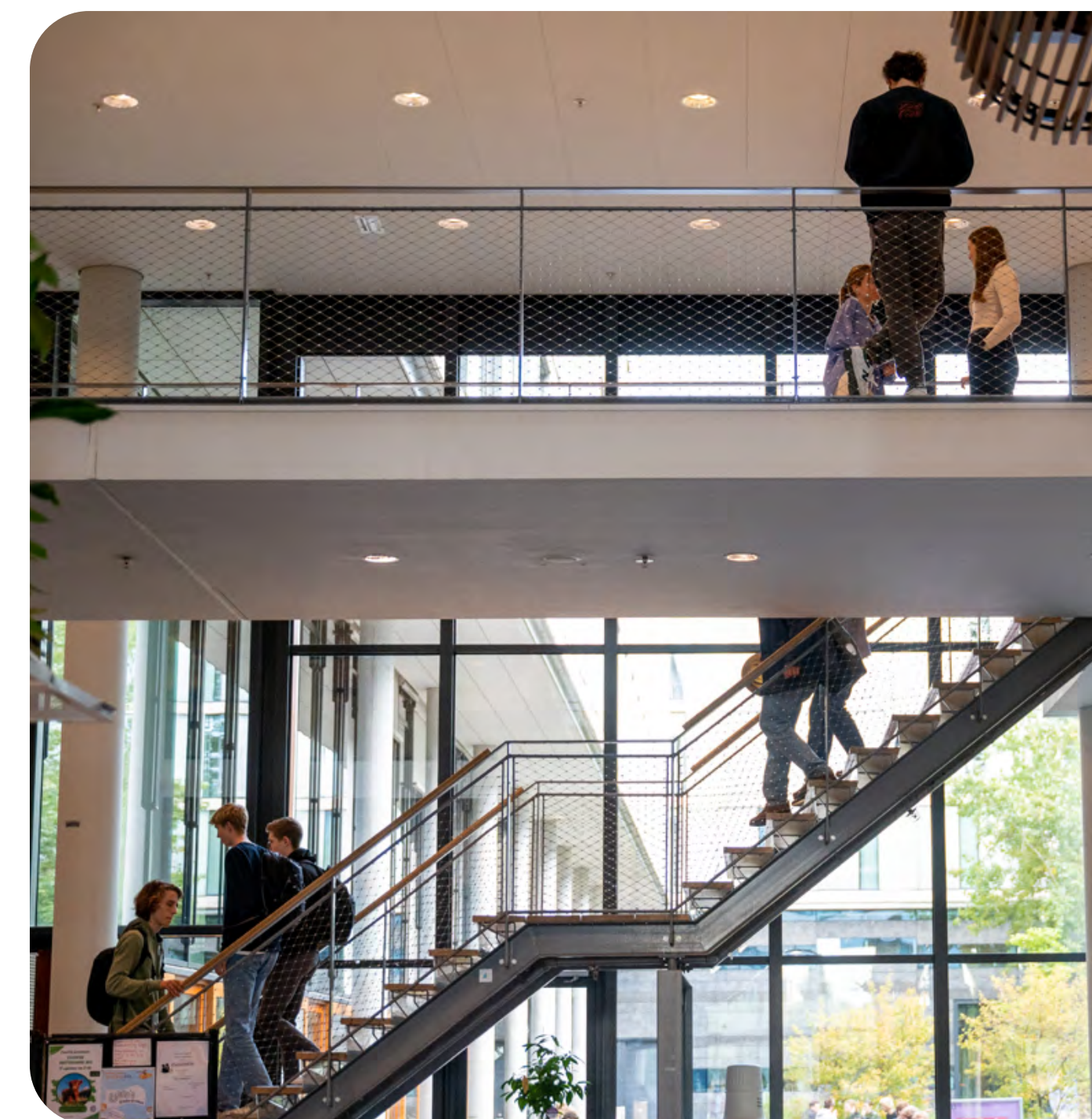
Onderzoek

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 parallellisme, 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



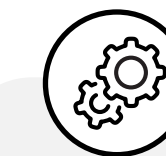
Onderwijs

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

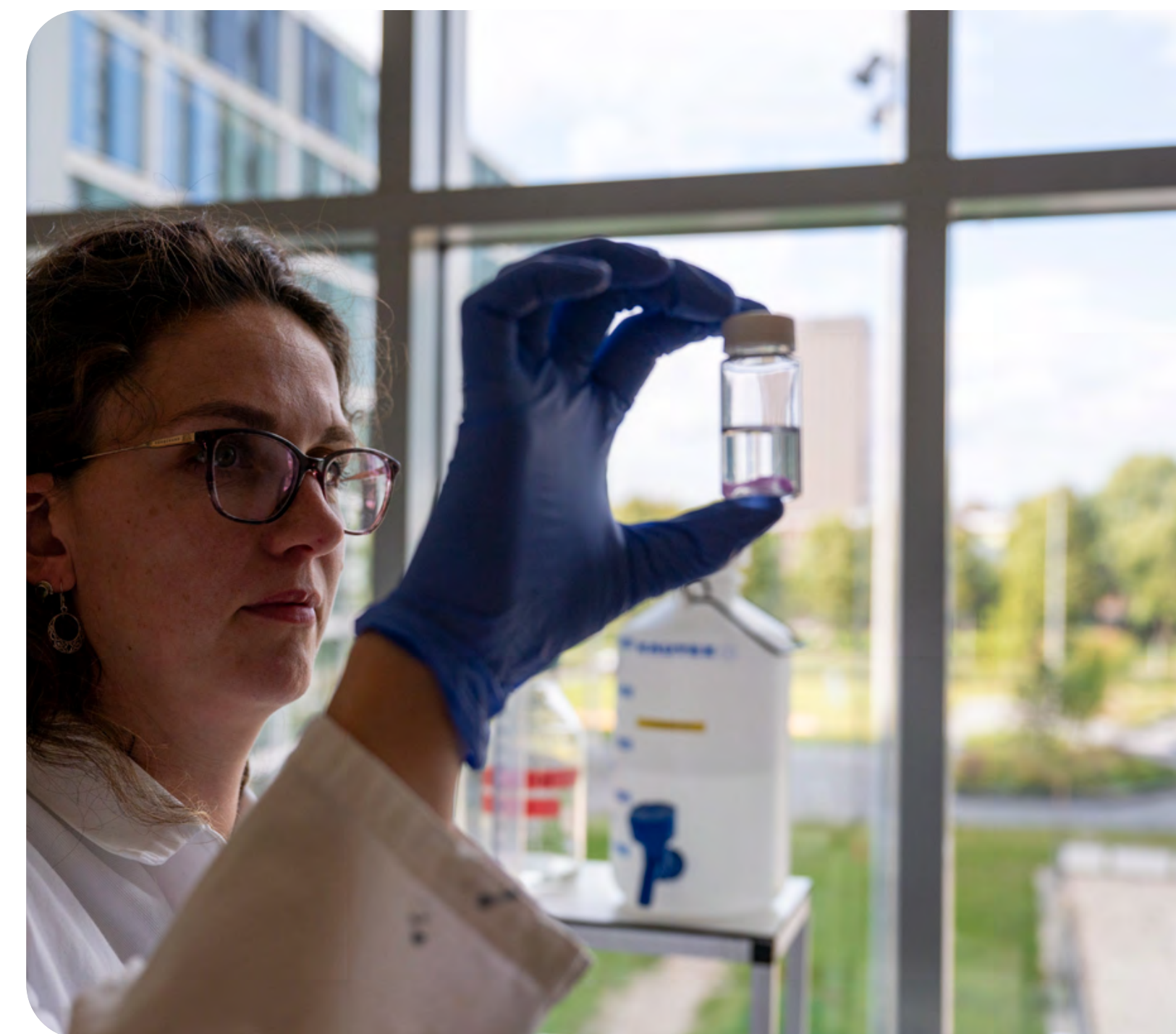
Drivers

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



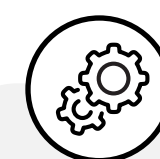
Onderwijs

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)

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