

Infinite Machine Creativity

Menno van Doorn
Sander Duivestijn
Deepa Mamtani
Thijs Pepping



Infinite Machine Creativity

1	Inleiding: de creatieve machine	3
1.1	Innov-AI-tion: een medicijn in no time	4
1.2	GAN's: een kijkje onder de motorkap	6
1.3	Het AlphaGo-moment van Pharma	8
1.4	De opbouw van het rapport en vijftien GAN-conclusies	9
2	Compressie van creativi-tijd	12
2.1	Wetenschap: analyseren, voorspellen, synthetiseren	12
2.2	Design, mode, smaak	18
2.3	Ontwerp in architectuur en industrie	20
2.4	Synthetische media en kunst: nep is het nieuwe echt	23
2.5	Tot slot: de korte neus van innovatie	32
3	MENS-GAN-creativiteit	34
3.1	Zijn computers nu echt creatief?	34
3.2	MENS-GAN nader bekeken	35
3.3	Een nieuwe samenwerking, tot welk niveau?	36
3.4	Tot slot: de menselijke creativiteit ontmaskerd	37
4	Concluderend: de gedroomde toekomst van de CIO	38
	Noten	44
	Beeldverantwoording	46

We danken het Oxford Internet Institute (OII), voor de inzichten en ideeën die kwamen uit een gezamenlijke workshop, met name: Luciano Floridi (Director of Research, Professor of Philosophy and Ethics of Information), Mariarosaria Taddeo (Senior Researcher Fellow OII), Paul Timmers (Visiting Research Fellow Cybersecurity Policy and Digital Transformation), Matthias Holweg (American Standard Companies Professor of Operations Management aan Said Business School), Vincent Wang (Research Assistant bij DELab, MSc-student Foundations of Quantum Computing), Andreas Tsamados (Research Assistant OII; AI for social good), Carl Ohman (Doctoral Candidate OII; Ethics and Politics of 'Digital Human Remains'), Huw Roberts (MSc student OII; Ethics & Chinese technologies), Nikita Aggarwal (Research Associate Digital Ethics Lab, Research Fellow and Doctoral Candidate Faculty of Law), Jessica Morley (MSc-student OII, tech adviser bij het UK Department of Health and Social Care), Jakob Mokander (MSc-student OII; Ethical guidelines for trustworthy AI).

We willen hierbij graag opmerken dat noch het OII, noch één van de genoemde personen verantwoordelijkheid draagt voor de tekst in dit rapport.

1 Inleiding: de creatieve machine

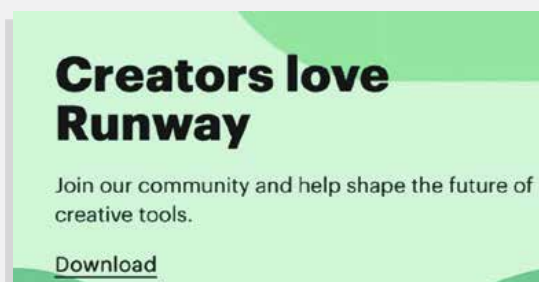
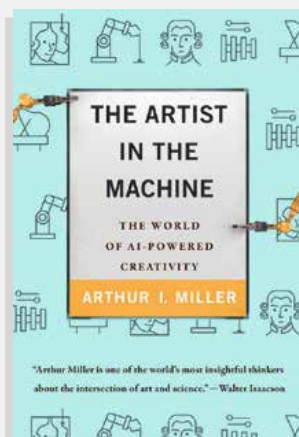
Wetenschappers zeggen dat we dromen nodig hebben om onze indrukken te verwerken. Computers daarentegen hebben niets te verwerken en hebben daarom ook geen behoefte om te dromen. Ze hebben überhaupt weinig behoeftes, ze zijn vrij onverschillig. Ze kunnen aan of uit, maar zelfs dat zal ze niet uitmaken. Ook niet hoe ze geprogrammeerd zijn, of ze op Linux of Windows draaien, of ze een grafische processor hebben of niet, of dat ze ingezet worden voor deep learning of een computerspelletje. Ondanks deze wetenschap claimt Google een computer te hebben gemaakt die ons zijn dromen laat zien. Ze noemen hem Google DeepDream.¹ Kunnen computers dan toch dromen, vraag je je af. Als ze kunnen dromen, betekent dat dan dat er fantasie in deze machines huist en dat computers ook creatief kunnen zijn?

In Oxford wordt sinds kort het vak Creative Algorithmic Intelligence gedoceerd.² Men vraagt zich hardop af wat het betekent voor de menselijke creativiteit wanneer computers opeens (vrij recent) muziekstukken componeren en teksten schrijven van een redelijk niveau. Professor Marcus Du Sautoy van de Universiteit van Oxford legt in zijn boek *The Creativity Code: How AI is learning to write, paint and think* uit hoe computers kunst maken. Tegelijkertijd beantwoordt IBM de vraag 'What's next for AI?' met 'The quest for AI creativity'.³ In een recent boek van MIT Press van professor Arthur Miller lezen we dat computers op sommige vlakken al creatiever zijn dan mensen en dat ze ons op creatief vlak gaan inhalen.⁴ En wie met AI-creativiteit meteen aan de slag wil, kan met RunwayML 'de kracht van kunstmatige intelligentie in creatieve projecten ontdekken'.

Het heeft allemaal te maken met een nieuwe ontdekking van zogeheten Generative Adversarial Networks, afgekort GAN's. De naam is bedacht door Ian Goodfellow toen hij nog bij Google Brain verantwoordelijk was voor AI. Inmiddels heeft hij eenzelfde soort positie bij Apple.

We gaan terug naar 2014 tijdens een borrel, waar studenten Goodfellow uitdaagden met de vraag of computers kunnen fantaseren. Bij thuiskomst ging hij de hele nacht door en bouwde in 24 uur zijn eerste GAN-toepassing. Zijn creatie bleek een hit; andere onderzoekers en ontwikkelaars bedachten variaties en het principe wordt nu alom geprezen. Het enthousiasme van de experts is een extra stimulans om ons hier verder in te verdiepen. Yann LeCun, Chief AI Scientist bij Facebook, noemt het de meest interessante ontdekking in machine learning uit het afgelopen decennium. Andrew Ng, de oprichter van Google Brain en nu Chief Scientist bij Baidu, noemt het veelbelovend. Geoffrey Hinton, professor aan de Universiteit van Toronto en vaak in een adem genoemd met de twee andere 'AI godfathers', zegt dat GAN een doorbraak is. Het aantal GAN-toepassingen en GAN-netwerken groeit met de dag en we zien continu verbeteringen in het basis-model en specialisaties voor nichetoeepassingen. Inmiddels tellen we er meer dan vijfhonderd, bij elkaar gebracht in de zogenaamde GAN Zoo.⁵

Om te begrijpen waar dat enthousiasme vandaan komt, is het goed eerst eens te kijken waar we het precies over hebben. Dit kunnen we het beste laten zien aan de hand van een voorbeeld, in dit geval van medicijnuitvinder Insilico Medicine. Deze start-up van de Johns Hopkins-universiteit verhuisde hun hoofdkantoor in 2019 naar Hongkong en heeft een methode ontdekt om in no time een medicijn voor een ziekte op te sporen. Aan de basis ligt deze nieuwe toepassing van kunstmatige intelligentie, de Generative Adversarial Networks.



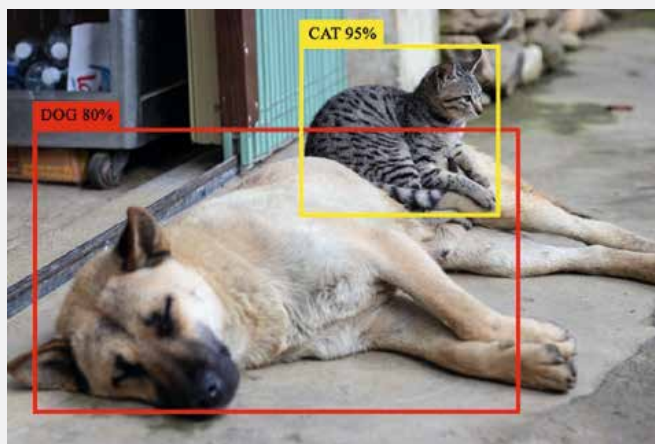
Van links naar rechts: *The Artist in the Machine*, waarin professor Miller stelt dat computercreativiteit de menselijke creativiteit zal overtreffen; RunwayML, dat AI-tools aanbiedt om creatiever te worden; en het boek van Marcus du Sautoy, waarin wordt uitgelegd hoe het allemaal werkt.

1.1 Innov-AI-tion: een medicijn in no time

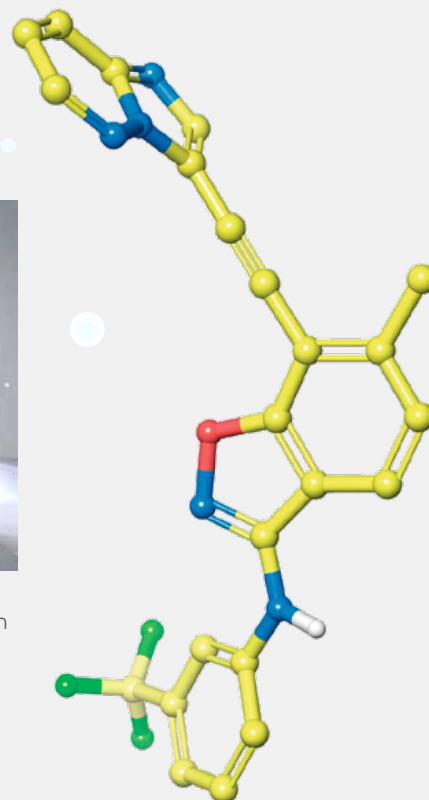
Een nieuw medicijn ontwikkelen is zoeken naar een speld in een hooiberg. Het kost gemiddeld \$ 2,6 miljard en 10 jaar van keihard werken en experimenteren. Als je aan het einde van de rit bent, moet je ook zeker weten dat het medicijn functioneert zonder vervelende bijeffecten of toxische werkingen. Het wordt steeds lastiger om een nieuw medicijn uit te vinden. Was vroeger het rendement op R&D in de farmaceutische industrie nog 10 cent op iedere geïnvesteerde dollar, nu is dat 2 cent en wordt er door de tien grootste farmaceutische bedrijven zo'n \$ 80 miljard in R&D geïnvesteerd.⁶ Het laaghangende fruit qua medicijnontwikkeling is al geoogst; nu het steeds lastiger wordt om een nieuw medicijn te ontdekken, is iedere bijdrage om dit proces te versnellen welkom.

Als zo'n speld in de hooiberg wordt gevonden in slechts 46 dagen, dan weet je: hier is iets bijzonders aan de hand. We hebben het over de recente bekendmaking van het biotechnologische bedrijf Insilico Medicine in de publicatie *Nature Biotechnology* op 2 september 2019. Dankzij generatieve AI is dit bedrijf erin geslaagd een molecuul te ontwerpen dat een medicijn is ter voorkoming van fibrose en gerelateerde aandoeningen. De kosten kwamen uit op zo'n \$ 150.000. De bekendmaking hiervan werd niet zonder gevoel van drama gepresenteerd. 'Het is het AlphaGo-moment van de farmaceutische industrie' werd erbij verteld. Op AlphaGo komen we zo nog even terug, eerst gaan we in op hoe het precies in zijn werk ging.

Het sleutelwoord is hier generatieve AI, kunstmatige intelligentie die iets 'genereert'. Generatieve AI is niet nieuw, we kennen het fenomeen al langer van het genereren van waarschijnlijkheden. Bij een foto van een kat of een hond geeft kunstmatige intelligentie bijvoorbeeld een inschatting, zoals 80 procent kans dat dit een hond is en 95 procent dat dit een kat is, zoals op de foto hieronder. Maar deze nieuwe vorm van generatieve AI levert iets compleet anders op, deze genereert een molecuul.



Twee vormen van generatieve AI. Boven AI die waarschijnlijkheden genereert, onder het door AI gegenereerde molecuul.



Het biotechnologische bedrijf Insilico Medicine gebruikt AI, waaronder GAN's, voor het vinden en creëren van nieuwe medicijnen.

Deep learning maakt het mogelijk om snel beloftevolle DDR1-kinaseremmers te vinden



In een tijdsbestek van 46 dagen wist de AI-toepassing 30.000 verschillende moleculen te genereren, waarvan er uiteindelijk één werd getest op een muis.

De ontdekking begint met een computermodel (in silico) dat moleculen voorstelt die als medicijn kunnen werken. Dat proces duurt 21 dagen. Daarna wordt in een reageerbuis (in vitro) het synthetische medicijn aangemaakt en geanalyseerd en is in 46 dagen het medicijn gereed om te testen op een muis (in vivo). Deepknowledge Ventures, dat Insilico financiert, heeft twee jaar geduldig moeten wachten totdat het theoretische raamwerk klaar was om de techniek (GENTRL) te testen. Hun enthousiasme over de doorbraak steken ze niet onder stoelen of banken. Zelf spreken ze bijvoorbeeld over een ontdekking na 21 dagen in plaats van 46, omdat het molecuul eigenlijk al was ontdekt in de eerste fase. Dat de naam van het bedrijf identiek is aan de computerfase van de medicijnontwikkeling, is niet toevallig. Insilico is een technologiebedrijf gespecialiseerd in AI dat de productie van medicijnen wil versnellen, zoals Henry Ford dat ooit deed met de productie van auto's. In dit kader zijn we steeds weer op zoek naar nieuwe woorden. Kunstmatige intelligentie werd lang geschaard onder de noemer 'General Purpose Technologies' vanwege haar algemene inzetbaarheid. Een wetenschappers trio van MIT, Harvard en Stanford, Iain Cockburn, Rebecca Henderson en Scott Stern, doet onderzoek naar de economische impact van kunstmatige intelligentie.⁷ Zij introduceren een term die gebaseerd is op hun stelling dat AI in staat is

betere ideeën te creëren dan mensen. Wat GAN's doen gaat over een andere manier waarop dingen worden uitgevonden en gemaakt. GAN's innoveren innovatie. Kortom, we hebben het over 'invention in the method of invention'.

'GAN's innoveren innovatie. Kortom, we hebben het over invention in the method of invention.'

Inmiddels heeft Insilico samenwerkingsverbanden met Astra Zeneca, Pfizer en tal van andere grote farmaceuten. Insilico kunnen we een uitvinder noemen van nieuwe manieren waarop uitvindingen worden gedaan. Het GENTRL-model hebben ze overigens geopensourceerd en is op GitHub beschikbaar⁸ voor iedereen die ook op andere manieren wil gaan uitvinden.

De eerste creatieve machines met een patent

Eind januari 2020 werd bekend dat voor het eerst een door AI gecreëerd medicijn op mensen wordt getest. Ditmaal niet in opdracht van Insilico, maar van de Britse start-up Exscientia en het Japanse farmaceutische bedrijf Sumitomo Dainippon Pharma.⁹ In september 2019 is in Amerika een patent¹⁰ verleend aan een 'creativiteitsmachine' die op GAN-technologie draait. Voor twee van de uitvindingen die de machine heeft gedaan, zijn ook patenten aangevraagd bij het Europese patentenbureau. De aanvragen zijn in januari van dit jaar afgewezen. Professor Ryan Abbott van de Universiteit van Surrey, die achter de patentaanvraag zit, geeft als commentaar dat als het GAN een mens was geweest, niemand had getwijfeld om de uitvindingen aan die persoon toe te schrijven.

1.2 GAN's: een kijkje onder de motorkap

De creativiteitsmachine van Insilico, waarmee ze de ontdekking hebben gedaan, bestaat uit grafische processoren van NVIDIA die ook in computergames zitten.

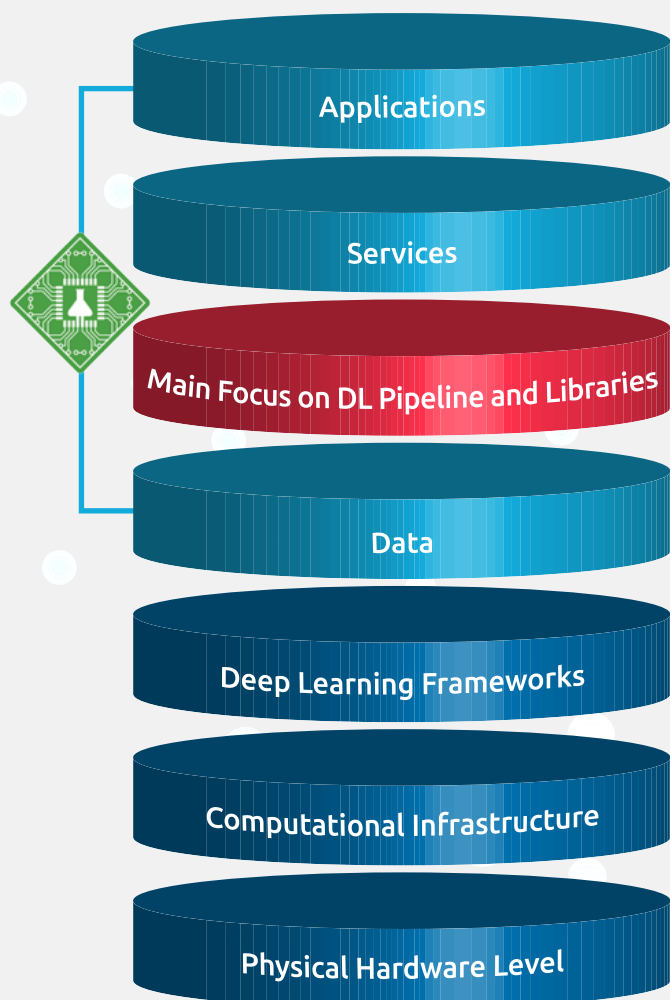
Vervolgens komt er een hele batterij aan cloudoplossingen bij kijken, zoals van AWS, Alibaba Cloud en Google Cloud. Deep learning frameworks van TensorFlow en PyTorch komen daarbovenop en petabytes aan data uit tal van verschillende bronnen worden eraan toegevoegd,

zoals van een genendataset, informatie (teksten) uit wetenschappelijke onderzoeken, opsommingen van chemische samenstellingen, een bibliotheek met geautomatiseerde workflows voor biologie en chemie, een toolset voor identificatie van molecuulgeneratie en applicaties voor het maken van proof-of-concepts. Maar de belangrijkste rol is weggelegd voor Generative Adversarial Networks.

Generative Adversarial Networks en synthetische data

De echte doorbraak is te danken aan een nieuwe vorm van generatieve AI, door Goodfellow zoals gezegd gedoopt tot Generative Adversarial Networks. Het principe

The Industry's Most Advanced End-to-End Drug Discovery AI



Applications: Insilico is developing and deploying a large number of proof of concept and commercial applications for target ID, chemistry and digital medicine.

Services: Insilico developed a set of tools for target identification and small molecule generation for internal use.

Main Focus on DL Pipeline and Libraries: Insilico developed a set of deep learning libraries and automated workflows for biology and chemistry.

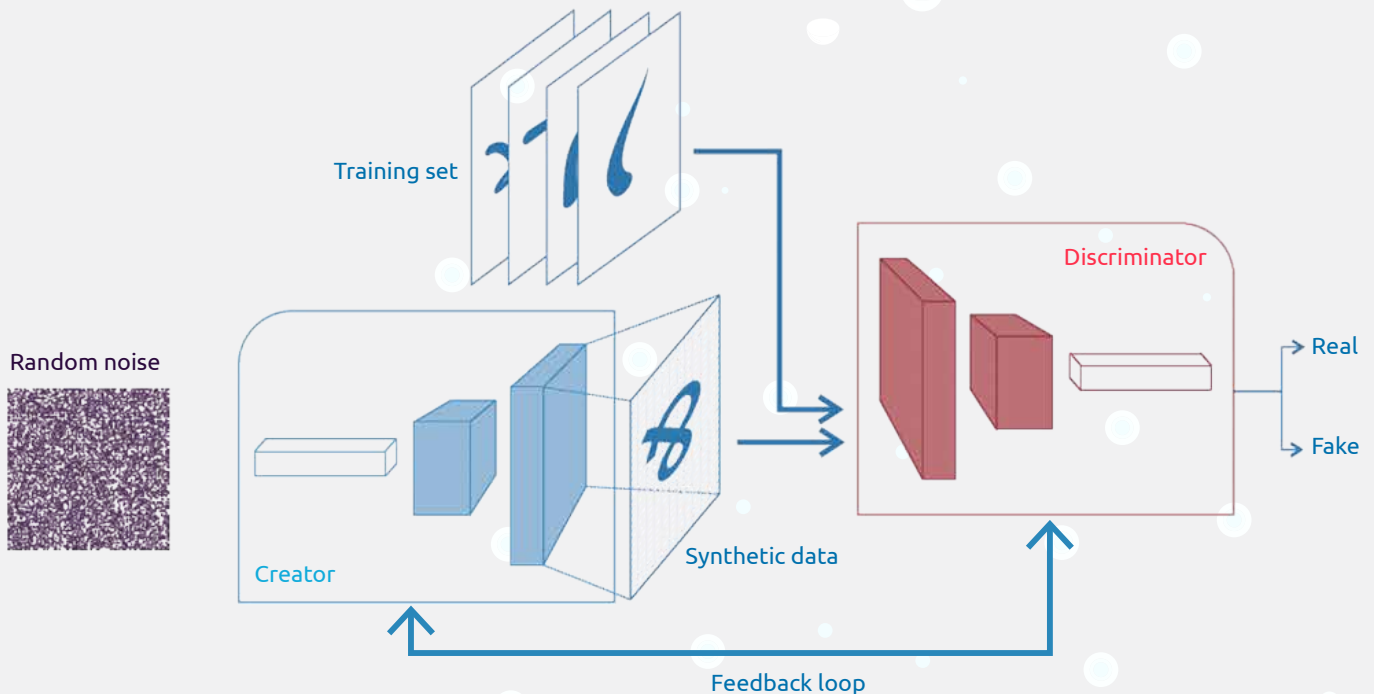
Data: Insilico aggregated and processed petabytes of data including gene expression data, chemistry and text.

Deep Learning Frameworks: Insilico relies primarily on TensorFlow and Pytorch.

Computational Infrastructure: Insilico relies on the GPU clusters and some AWS. Unique storage solutions.

Physical Hardware Level: Insilico relies primarily on NVIDIA GPU for DL but is evaluating other technologies.

De creativiteitsmachine van Insilico bestaat uit een uitgebreide combinatie van technologieën.



Generative Adversarial Networks creëren van witte ruis synthetische data. Het doel is dat de synthetische data dezelfde eigenschappen en correlaties bezitten als de trainingsdata en zo een goede synthetische representatie vormen van de werkelijkheid.

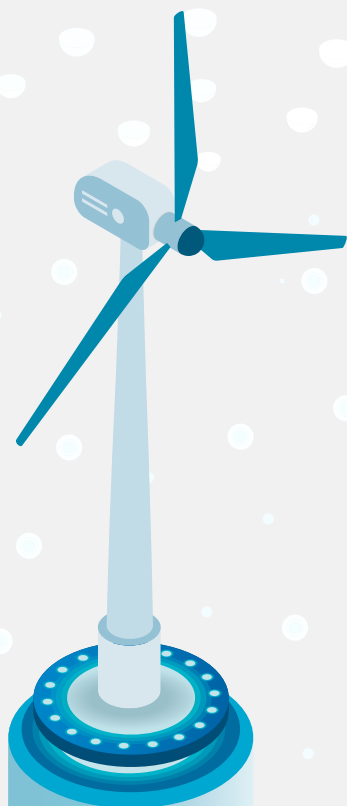
hierachter is om twee zelflerende neurale netwerken tegen elkaar te laten strijden via het principe van hoor en wederhoor. Het eerste netwerk, bekend als de creator of artiest, produceert kunstmatige output, bijvoorbeeld afbeeldingen van een hond. Het tweede netwerk, bekend als de discriminator of criticus, beoordeelt vervolgens of de geproduceerde resultaten echt of namaak zijn door ze te vergelijken met een dataset van trainingsvoorbeelden. De een probeert de ander voor de gek te houden. En de ander wil daar juist niet intrappen. Voortdurend is er feedback naar de ander waarom het wel of niet gelukt is. Dit gebeurt zonder menselijke tussenkomst, in AI-terminen spreekt men van 'unsupervised learning'. Na vele iteraties is de kwaliteit van de output zo goed dat deze (bijna) niet van de originele trainingsvoorbeelden te onderscheiden is. De uitkomst is een afbeelding (of een tekst, een molecuul, een geluid, een video – vele vormen zijn mogelijk) die door de computer is gegenereerd. De output noemen we synthetische data. Het interessante is dat hierdoor niet langer het adagio 'data is de nieuwe olie' geldt. Minder data, maar meer data modelleren is het nieuwe paradigma. Het zet ook direct druk op het beroep van de data scientist. Werd dit een paar jaar geleden nog uitgeroepen tot het meest sexy beroep van de eenentwintigste eeuw,¹¹ met de introductie van synthetische data kunnen hier kritische vraagtekens bij worden gezet.¹²

Generative. Het AI-model genereert nieuwe – synthetische – data op basis van een gegeven set aan trainingsdata. Als de trainingsset bijvoorbeeld bestaat uit moleculen, genereert het AI-model synthetische moleculen. Het doel is dat de synthetische data dezelfde eigenschappen en correlaties bezitten als de trainingsdata en zo een goede synthetische representatie vormen van de werkelijkheid.

Adversarial. Letterlijk vertaald: hoor en wederhoor. Dit doelt op het aspect van de competitie tussen de twee algoritmische modellen: de creator en de criticus.

Networks. Afhankelijk van de complexiteit van het GAN gaat het om een relatief eenvoudig neuronaal netwerk – een feed forward – of convolutional netwerk dat met name wordt ingezet bij het verwerken van beeldmateriaal.

Synthetic data. Door de computer gecreëerde kunstmatige data, de output van GAN's. Synthetische data kunnen ideeën opleveren, leermodellen versnellen, privacyvraagstukken omzeilen en taalbarrières tussen verschillende mediavormen beslechten. In hoofdstuk 2 gaan we hier verder op in.



1.3 Het AlphaGo-moment van Pharma

Insilico sprak in zijn persbericht over 'Pharma's AlphaGo'-moment. Hier werd gerefereerd aan de historische overwinning uit 2016 van AlphaGo, een computer van Google, op de mens met het bordspel go. Van de vijf spellen die de computer speelde tegen wereldkampioen Lee Sedol, won de computer er vier. Deskundigen dachten dat het nog 10 jaar zou duren voordat de computer hierin zou slagen. En nu heeft de farmaceutische industrie, net als de gamewereld, haar AlphaGo-moment. De vraag is of we wel een winnaar moeten of kunnen aanwijzen. Als we even teruggaan naar de bewuste go-wedstrijd, zijn er twee momenten die er destijds uitsprongen. In het tweede spel deed AlphaGo in de 37e beurt een afwijkende zet, waarvan de kenners dachten dat het een fout betrof. Later waren ze lyrisch over de schoonheid ervan. Deze zet was nog nooit door een mens eerder in een spel uitgevoerd. Uiteindelijk won AlphaGo dankzij deze ingenieuze ingeving. In het vierde spel, bij zet 78, deed Sedol iets vergelijkbaars. De vraag is nu of hij deze zet gedaan zou hebben als hij niet zet 37 voor zijn kiezen had gehad. Met andere woorden, de mens leert van de computer, net zoals de computer leert van de mens. Het is geen competitie, maar een samenspel. Drie jaar na zijn verliespartij legde Sedol het bijltje erbij neer. De computer kan niet verslagen worden, zei hij. De lol is er voor hem vanaf.

'Zelfs als ik de nummer één go-speler zou worden, zal ik niet bij de top behoren.'
Lee Sedol

De teleurstelling van Sedol is begrijpelijk, maar de conclusie dat de rol van de mens is uitgespeeld, is ongenueanceerd en onjuist. Garry Kasparov maakte na zijn nederlaag tegen Deep Blue een andere keuze. Hij ging samenwerken met de computer en introduceerde een nieuw spel, Centaur Chess, waarin mensen met computers samenwerken om betere resultaten te behalen. De uiteindelijke impact van AI op de schaakwereld is dat het menselijke spelniveau in de hele breedte omhoog is gegaan. Iedereen heeft nu toegang tot een digitale topcoach. De technologie werkt democratiserend en creativiteitsbevorderend.

'AlphaGo deed een *originele* en uiterst *effectieve* zet. Binnen de definitie van creativiteit zijn dit de twee kernbegrippen.'

Thomas Edison hanteerde een eigen definitie van creativiteit. Volgens hem bestaat de menselijke genialiteit voor

98 procent uit 'hard work' en hij voegde eraan toe dat creativiteit heel veel transpiratie vergt. In populaire definities van creativiteit zien we de woorden van Thomas Edison nog terug: 'Creativiteit is 98 procent transpiratie en 2 procent inspiratie.'

Voor de meeste voorbeelden die we in dit rapport beschrijven, moet de computer hard werken om tot zijn originele ideeën te komen en kunnen we vaststellen dat zonder de hulp en vindingrijkheid van de mens er niets uit zijn handen zou komen.

1.4 De opbouw van het rapport en vijftien GAN-conclusies

Het is een fascinerende gedachte dat we 'in no time' iets kunnen creëren. Een medicijn, maar ook allerlei andere producten en diensten kunnen met een GAN-aanpak dit effect bereiken. We hebben als het ware een soort tijdsmachine uitgevonden, een machine die de creativi-tijd comprimeert om tot ontdekkingen te komen. Normaal gesproken hebben we het in de wereld van computers over efficiëntie, effectiviteit, brute rekensnelheid en cognitief vermogen. Maar wat als het creatieve proces zelf nu eens verbeterd kan worden met machines? Dat roept tal van vragen op. De drie hoofdvragen worden afzonderlijk in de drie hierop volgende hoofdstukken behandeld.

Hoe werkt de compressie van creativi-tijd?

In hoofdstuk 2 presenteren we tal van GAN-voorbeelden, ingedeeld in wetenschap, design, industrie en architectuur, kunst en media. Niet allemaal even baanbrekend, maar vaak wel opzienbarend. Het is een interessant gegeven dat de mens deze nieuwe digitale mogelijkheid erbij heeft gekregen. Innovatie is immers een kwestie van slim combineren, en de nieuwe mogelijkheden om te combineren, in dit geval GAN-creativiteit met menselijke creativiteit, creëren nieuwe kansen voor innovatie. We stimuleren u vooral om ook buiten de sectorkaders te denken, want toepassingen in de verschillende secties lopen vloeiend in elkaar over. De tijdscompressie heeft vele gezichten, zoals u zult zien.

Kunnen computers dromen en creatief zijn?

In hoofdstuk 3 komen we terug op de existentiële vraag: kunnen computers überhaupt creatief zijn? Als we de

beperking opleggen dat computers geen eigen wil hebben, laat staan de wil om iets uit te vinden, is ons antwoord ja. Het betreft een zielloze variant van de menselijke vorm van creativiteit. Dit klinkt nogal beperkt of een beetje spooky, maar uiteindelijk zullen we het komende decennium moeten uitdokteren hoe deze twee vormen van creativiteit elkaar kunnen versterken. Want ook de menselijke creativiteit heeft zo haar beperkingen. Voor de mens-machinesamenwerking, ofwel MENS-GAN-interactie, zullen we zien dat op vele plekken in het creativiteitsproces de mens aan de bal is. De computer buffelt vooral, vaak op hoge snelheid, door tal van bronnen heen, iets waar wij als mens niet aan kunnen tippen. Als creativiteit een combinatie van inspiratie en transpiratie is, dan zit veel van de transpiratie aan de kant van de computer. Het ultieme effect zal zijn dat het creatief vermogen in de samenleving – en mogelijk ook in uw organisatie – ermee omhooggaat. Maar hoe zit u in dit verhaal?

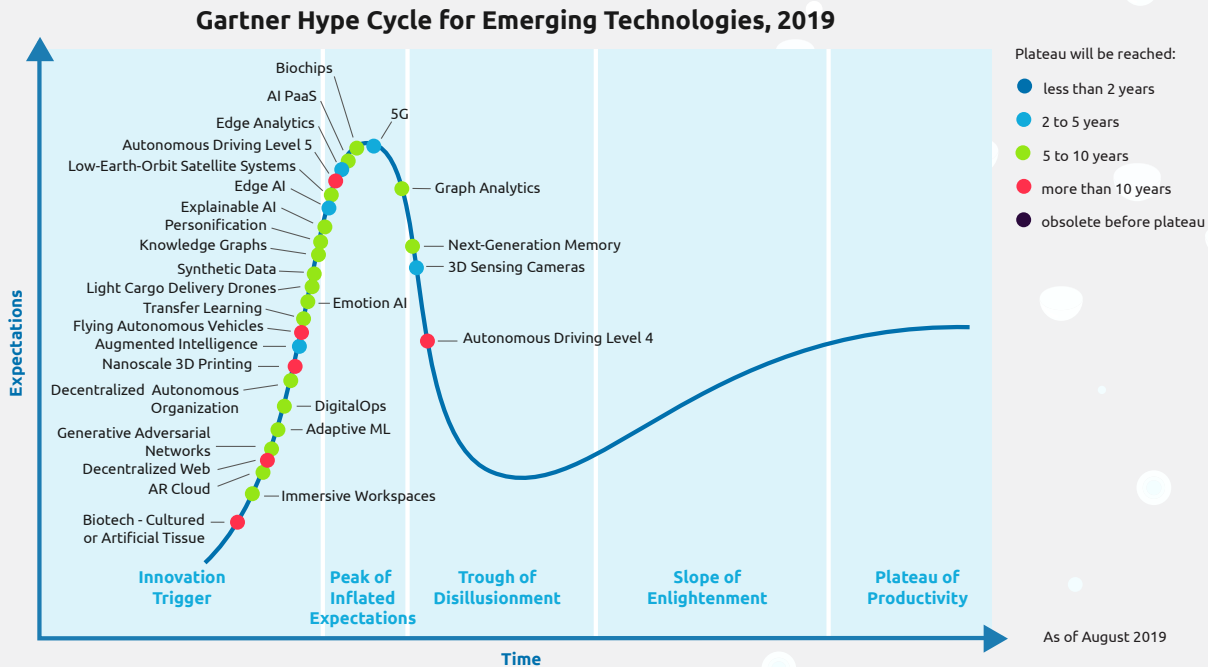
Kunnen CIO's nog wel dromen?

We sluiten in hoofdstuk 4 af met de vraag of de CIO eigenlijk nog wel droomt. Het is niet voor het eerst dat we horen dat de CIO nogal veel aan zijn hoofd heeft. Dan komt 'dit' er ook nog eens bij. Misschien is zelfs het lezen van dit lijvige rapport al te veel, want de

CIO staat onder druk. Volgens McKinsey is dit de slechtst denkbare tijd voor een doorsnee CIO om aan het roer te staan. Er zijn zo veel zaken die moeten worden afgehandeld en tegelijkertijd gebeurt er zo veel in de maatschappij waar we rekening mee dienen te houden. We presenteren in dit hoofdstuk de bovengemiddelde CIO en tonen vijf dromen (van groot naar klein en van dual naar naïef) plus twee nachtmerries waarin we het creativiteitsvraagstuk behapbaar maken.

Leeswaarschuwing

Voordat we van start gaan, geven we een waarschuwend schot voor de boeg. Ten eerste zijn veel van de cases van generatieve AI niet zo hoogdravend als die van Insilico. Neem bijvoorbeeld het algoritme dat muziek omzet in dans, of de online retailer Zalando die een GAN een nieuwe jurk laat ontwerpen. We kijken bijvoorbeeld ook naar computerschilderijen die aan de lopende band worden geproduceerd en hoe een GAN oude zwartwitvideobeelden omdoopt in een hoge resolutie kleurenfilm. Ten tweede moeten we u waarschuwen dat GAN's nog maar sinds kort opgenomen zijn in Gartners welbekende hypecycle. Het begrip bungelt ergens links onderaan, nog een stuk lager dan bijvoorbeeld bezorgdrones, om maar eens wat te noemen. Net boven die drones treffen



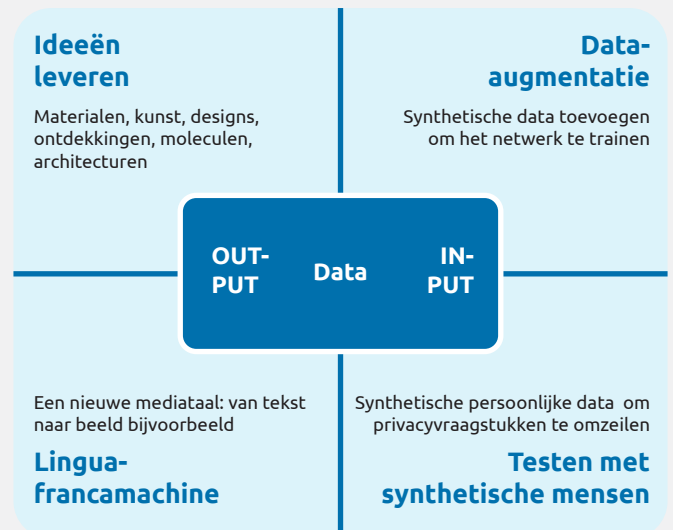
GAN's en synthetische data staan nog maar aan het begin van Gartners hypecycle.

we ook de zogenaamde synthetische data op de curve aan. Aangezien deze data door GAN's worden gegenereerd, kunnen we die als onderdeel van dezelfde ontwikkeling beschouwen. Het feit dat er nog geen aansprekende case uit uw eigen sector bij zit, hoeft dus niet te betekenen dat dit niet relevant is voor uw organisatie. Het is simpelweg nog vroeg in de ontwikkeling van deze nieuwe toepassing. De vraag is of u de creativiteit in huis heeft om door deze materie heen te kijken, uw eigen toepassing te vinden en de snelheid om tot nieuwe ideeën, producten en processen te komen kunt verkorten.

Snel de diepte in

In deze opsomming van conclusies die door het hele rapport te vinden zijn, krijgt u direct een beeld van de specifieke eigenschappen en de werking van GAN's. Hier ziet u groen en rijp door elkaar. Het helpt als u voor ogen houdt dat er feitelijk twee kanten van de medaille zijn: GAN-input en GAN-output. De output gaat over de ideeën die het netwerk genereert, zoals een molecuul in het voorbeeld van Insilico. Maar het kan ook een schilderij of een stuk muziek of een ontwerp van een gebouw zijn. Een speciaal kunststukje van output van GAN's is dat ze van een stuk tekst een tekening maken die uitdrukt wat er in de tekst beschreven staat. In dat geval is het een soort tolk-vertaler van het ene medium naar het andere. De GAN-input heeft een heel andere toepassing. Dan worden de synthetische data die het GAN genereert weer aan het neurale netwerk toegevoegd. Dit soort synthetische

data-augmentatie heeft zin, omdat het neurale netwerk hierdoor sneller, beter en goedkoper functioneert. Een tweede voorbeeld van GAN-input is heel specifiek. Dan worden synthetische databestanden van mensen aangemaakt die worden gebruikt als input voor computersystemen die moeten worden getest, maar dan zonder dat er privacygevoelige data mee gemoeid zijn. GAN's omzeilen zodoende de privacyvraagstukken.



pagina 14 Conclusie 1:

Zelflerend vermogen versnelt creativiteit

GAN's zijn in staat zich wetmatigheden eigen te maken, zoals kwantumfysica of de traditionele fysica, waardoor nieuwe wetenschappelijke ontdekkingen binnen handbereik komen.

pagina 14 Conclusie 2:

GAN's hebben een scherp oog voor wat mensen over het hoofd hebben gezien

GAN's maken verborgen kennis zichtbaar en wijzen ons op zaken die verder onderzocht moeten worden. Ze helpen daarmee het creatieve vermogen van mensen op een juiste manier in te zetten.

pagina 15 Conclusie 3:

Data-augmentatie versnelt het leerproces van GAN's

De synthetische data die GAN's produceren, kunnen worden gebruikt om neurale netwerken versneld te trainen. Dit bespaart geld en tijd.

pagina 16 Conclusie 4:

Breininterfaces worden realistischer

GAN's werken als tolk-vertaler van het ene medium naar het andere. In het geval van de beschreven decoder-breininterface gaat het om het vertalen van hersenactiviteit naar beelden met een relatief hoge kwaliteit.

pagina 17 Conclusie 5:

GAN's omzeilen privacyvraagstukken

Het genereren van een synthetische dataset die de echte data vervangt, biedt de mogelijkheid systemen te testen zonder het risico te lopen dat privacygevoelige data op straat komen te liggen.

pagina 18 Conclusie 6:

Procedureel modelleren in plaats van zelf fröbelen scheelt tijd

GAN's tonen de toekomst van (game)design. Er wordt tijd en geld bespaard door minder gefröbel en de ontwerper kan zich meer met de concepten bezighouden en procedureel modelleren.

pagina 19 Conclusie 7:

GAN's verkorten de ontwerptijd aanzienlijk

Er komen steeds meer GAN-tools op de markt die de designtijd verkorten en suggesties doen voor nieuwe ontwerpen. Van schets naar uniek product gaat nu in sneltreinvaart.

pagina 20 Conclusie 8:

Stijladvies van de computer aan de mens werkt goed

GAN's kunnen mensen adviseren wat ze moeten dragen om er meer 'fashionable' uit te zien, zonder dat ze geleerd hebben wat fashionable is.

pagina 20 Conclusie 9:

De eerste stappen in architectuur zijn gezet

GAN's hebben de eerste stappen gezet voor de architectuur van fysieke gebouwen. Zo kunnen we wegdromen over toekomstmogelijkheden met geautomatiseerde creativiteit, maar we zijn er nog niet.

pagina 21 Conclusie 10:

GAN's en 3D-printing in de industrie bieden mogelijkheden

Generative design van industriële producten bestaat al langer. Generatieve AI ligt in het verlengde hiervan. Met name de combinatie van GAN's en 3D-printing is interessant.

pagina 22 Conclusie 11:

GAN's voorspellen en detecteren fouten

GAN's spelen een rol bij het efficiënter opsporen van mankementen, bijvoorbeeld bij zonnepanelen, bij het voorspellen waar problemen gaan ontstaan (predictive maintenance) en bij het voorkomen van fouten door simulaties.

pagina 25 Conclusie 12:

GAN's maken het onzichtbare zichtbaar

GAN's openen de deuren voor synthetische media. Door de computer gegenereerde of aangepaste beelden maken het onzichtbare zichtbaar, zoals een zwart gat, of maken de wereld echter dan echt door zwartwitbeelden in te kleuren of de kwaliteit van beelden kunstmatig te verhogen.

pagina 26 Conclusie 13:

GAN's zijn tolk-vertalers van mediatalen

GAN's kunnen in de media functioneren als lingua franca waardoor bijvoorbeeld tekst naar beeld, foto naar schilderij en muziek naar choreografie geautomatiseerd vertaald worden.

pagina 28 Conclusie 14:

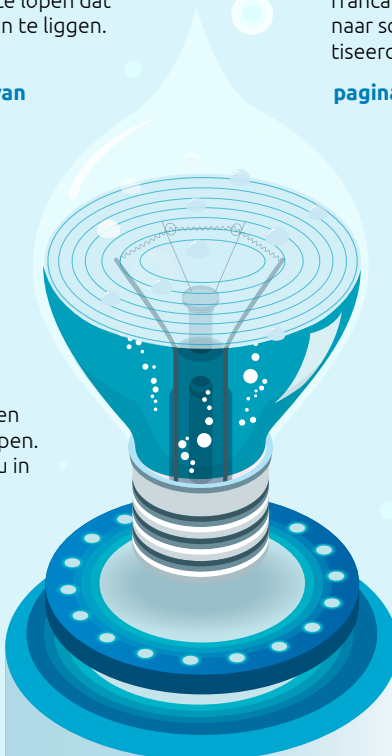
Nep is het nieuwe echt

Deepfakes zijn misschien wel de meest bekende en beruchte toepassing van GAN's. Manipulatieve nepvideo's en volledig automatische synthetische propagandamachines laten zien dat een boost in creativiteit niet per se positief hoeft te zijn.

pagina 31 Conclusie 15:

GAN-kunst roept IP-vragen op

GAN-kunst roept bij uitstek nieuwe vragen op over originaliteit, creativiteit en scheppingskracht die ook relevant zijn voor patent- en IP-vraagstukken.



2 Compressie van creativi-tijd

Van medicijnen naar kunst, design en media: creativiteit is overal te vinden en heeft ons leven op deze planeet gemaakt tot wat het nu is. Stel dat we eens het hele register opentrekken van de menselijke creativiteit. Bij elkaar opgeteld past het niet eens in een naslagwerk. Er zijn zo veel toepassingsgebieden, er is zo veel diversiteit in vondsten en ideeën, het levert een rijke en kleurrijke pot-pourri aan vernuft en inventiviteit op. Van het werk van componisten zoals Ludwig van Beethoven en Amadeus Mozart en schilders als Van Gogh en Gauguin, tot briljante computerdeskundigen zoals Ada Lovelace en Alan Turing, ontdekkingspioniers zoals Copernicus en Louis Pasteur, fysici en natuurkundigen zoals Isaac Newton en Albert Einstein. In onze moderne tijd scharen we daar ook Steve Jobs en Elon Musk onder. Musk,

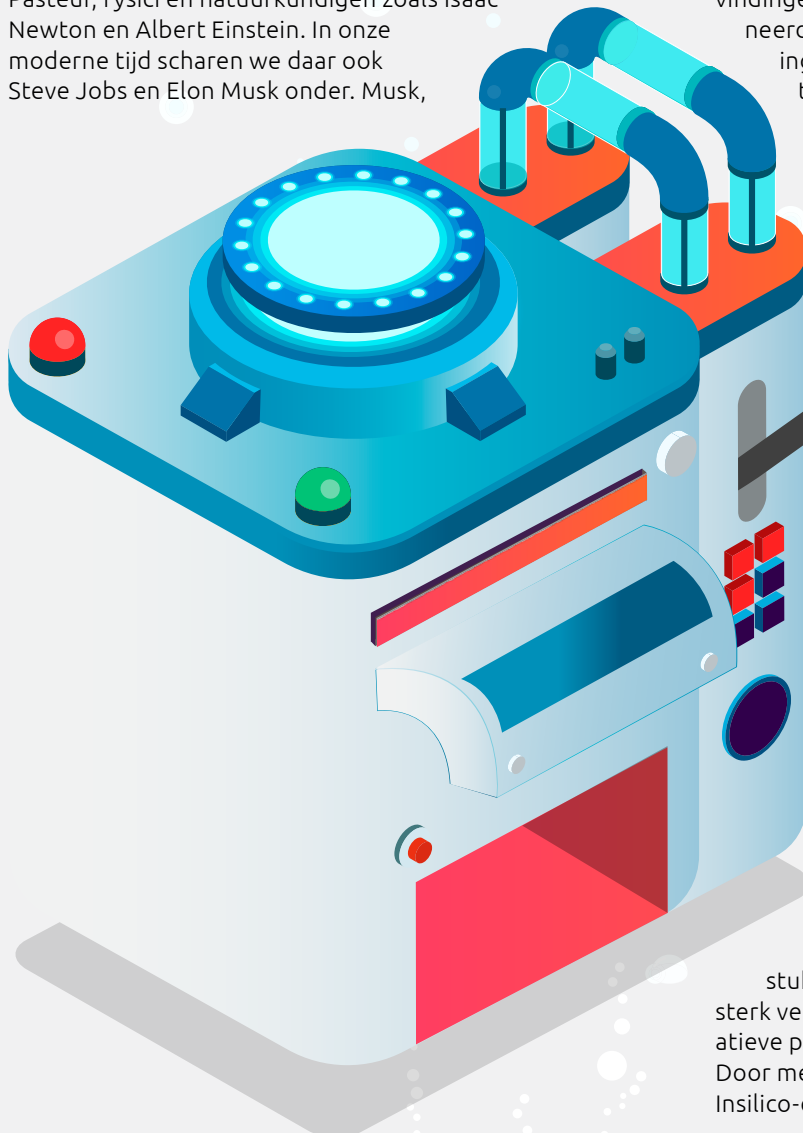
die als reclamestunt een van zijn Tesla's in een raket de ruimte in schoot in een rondje om de zon en daar David Bowie's 'Space Oddity' onder zette, is wellicht het meest extravagante voorbeeld van het menselijk kunnen.

Hoewel het hier gaat om totaal verschillende personen, is wat ze gedaan hebben allemaal terug te voeren tot een idee en het voorstellingsvermogen dat zoiets ook in het echt mogelijk is. Vanaf daar komt het aan op de creativiteit van de uitvoering. Er ontstaat dan wat, een artefact, iets dat door de mens is gemaakt. Al deze artefacten samen maken de wereld tot wat die nu is, we leven in een 'human built world'. Van de zonnebloemen van Van Gogh die afgedrukt worden op een kalender of even als een insta-achtergrondje dienen, tot de Vijfde van Beethoven als rapuitvoering van DJ Wilfred op je Spotify-playlist. Al deze vindingen en maaksels zijn inmiddels op een uiterst geraffineerde manier in het complexe leven van alledag ingebed. Wat nu wordt besteld, wordt morgen voor tien uur bij u thuis geleverd, in verschillende continenten geproduceerd en in elkaar gezet. Wat en pensant duidelijk wordt over de rug van al die creatieve geesten is dat hun creaties de wereld en de economie hebben opgestuwd en voortgeduwd in tal van nieuwe richtingen.

Kunst, cultuur, wetenschap, techniek, educatie, alles is terug te voeren naar de ideeënrijkheid en de creativiteit van de mens die ons hebben gebracht waar we nu zijn. Stel nu dat de GAN's in dit rapport de mensheid uiteindelijk 1 procent creatiever maken, of 10 procent, of 20 procent? Het is nog te vroeg om antwoord te geven op de vraag hoeveel verschil het exact gaat maken. Maar de potentie om creatiever te worden met de hulp van machines is zonder meer aanwezig. Al is het alleen al omdat we met GAN's een nieuw deel van het creatieve proces kunnen automatiseren en versnellen.

2.1 Wetenschap: analyseren, voorspellen, synthetiseren

GAN's zijn breed inzetbaar, van kunst en design tot wetenschap, industrie en media. In dit hoofdstuk kijken we specifiek naar deze domeinen. Er is een sterk verbindend element: ze verkorten de tijd van het creatieve proces. Dat gebeurt op verschillende manieren. Door met ideeën en suggesties te komen, zoals in de Insilico-case, maar ook door andere effecten van de



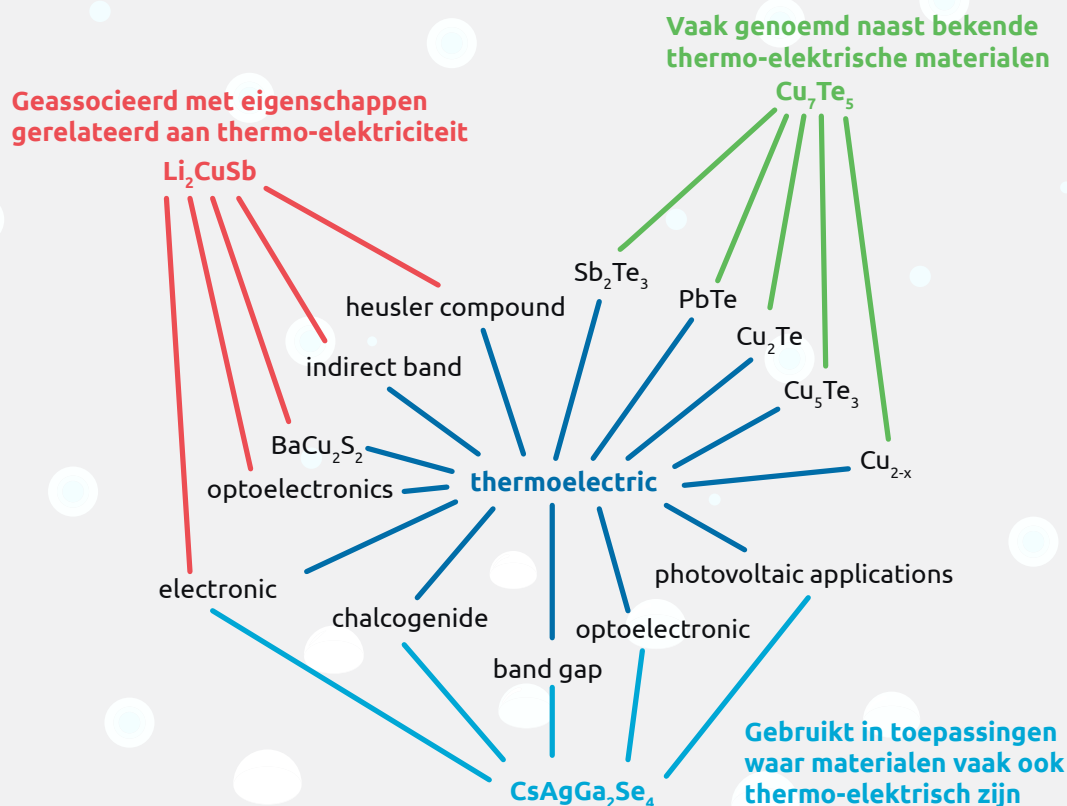
toepassing van synthetische data, bijvoorbeeld het omzeilen van privacyvraagstukken of het versnellen van leermodellen door data-augmentatie. We beginnen met vier voorbeelden van GAN-toepassingen uit de wetenschap: fysica, lifesciences, neurowetenschap en de sociale wetenschap.

A) Fysica: ontdekking van thermo-elektrisch materiaal

Onderzoekers van het Amerikaanse ministerie van Energie¹³ hebben mogelijk nieuwe thermo-elektrische materialen ontdekt met de hulp van GAN's. Ze achten de kans groot dat tussen de suggesties goede kandidaten zitten, een beetje vergelijkbaar met de eerste fase van de Insilico-case. Dat zou een belangrijke ontdekking zijn. Als de efficiëntie waarmee warmte in energie kan worden omgezet door een nieuw materiaal omhooggaat, betekent dit dat we een stukje dichterbij de oplossing van het energieprobleem zijn gekomen.

Hoe zijn de onderzoekers te werk gegaan en waarop baseren ze hun enthousiasme? Op basis van 3,3 miljoen wetenschappelijke artikelen heeft het GAN¹⁴ suggesties gedaan voor de ontwikkeling van nieuwe thermo-elektrische materialen. Het algoritme kwam met oplossingen voor thermo-elektrisch materiaal door tussen de onderzoeken nieuwe connecties te leggen die niet eerder door mensen werden gevonden. Zonder dat het algoritme iets was verteld over materiaalkunde, leerde het concepten zoals het periodiek systeem en de kristalstructuur van metalen. Het zelflerende en creatieve vermogen van het GAN gecombineerd met de brute rekenkracht van computers zorgt voor een speciaal soort meta-analyse. En dat met een bovenmenselijke snelheid en volume.

De kans op succes is aanwezig, want het GAN heeft uit de vele onderzoeken ook materialen aangewezen die in het verleden al aangetoond hebben te werken. Op basis hiervan denkt men dat de nieuwe materialen die het GAN



Berkeley Lab-onderzoekers ontdekten dat text mining van materiaalwetenschappelijke samenvattingen nieuwe thermo-elektrische materialen zou kunnen opleveren.

nu suggereert, in potentie ook werken. Hoe de onderzoekers het succes met het GAN bereikt hebben, is te lezen in het artikel 'With little training, machine-learning algorithms can uncover hidden scientific knowledge'.¹⁵ Anubhav Jai, leidend onderzoeker van het project, wijst ons erop waar de kracht van de GAN-aanpak ligt. Mensen laten namelijk steken vallen:

'Het meest interessante dat we hebben ontdekt, is waarschijnlijk dat je dit algoritme kunt gebruiken om hiaten in materiaalonderzoek aan te pakken. Dingen die mensen hadden moeten onderzoeken, maar nog niet hebben gedaan.'

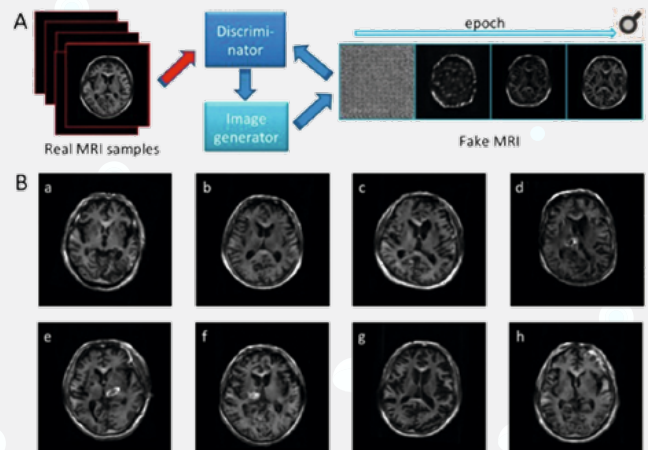
Het voorbeeld doet denken aan een onderzoek dat is gepubliceerd in *Nature* met als title 'AI-Copernicus ontdekt dat de aarde om de zon heen draait'.¹⁶ Niet dat we dat niet wisten, maar de wetenschappers wijzen ons erop dat dit GAN zich geheel zelfstandig de wetten van de kwantumfysica heeft eigen gemaakt (net als het periodiek systeem in het eerdere voorbeeld). Dat computers nu zelf ontdekken wat Copernicus in 1543 al wist, is daardoor veel belovend. De onderzoekers zeggen nu klaar te zijn voor het grotere werk, op zoek naar ontdekkingen die de mens nog niet heeft gedaan.

Conclusie 1:
Zelflerend vermogen versnelt creativiteit
GAN's zijn in staat zich wetmatigheden eigen te maken, zoals kwantumfysica of de traditionele fysica, waardoor nieuwe wetenschappelijke ontdekkingen binnen handbereik komen.

Conclusie 2:
GAN's hebben een scherp oog voor wat mensen over het hoofd hebben gezien
GAN's maken verborgen kennis zichtbaar en wijzen ons op zaken die verder onderzocht moeten worden. Ze helpen daarmee het creatieve vermogen van mensen op een juiste manier in te zetten.

B) Lifesciences: leerversnelling door synthetische data

Ook in de zogenaamde lifesciences worden GAN-technieken toegepast. In dit voorbeeld dragen ze bij aan de oplossing voor een algemeen probleem bij de toepassing van AI: het trainen van AI-modellen. Het signaleren van afwijkingen in MRI-scans van de hersenen is het werk van röntgenologen. Iedere foto moet bekeken worden door zo'n specialist om afwijkingen zoals bloedproppen of tumoren te signaleren. Hoe meer diagnoses, hoe beter het AI-model straks zelfstandig diagnoses kan stellen. Door met GAN's synthetische MRI-scans van hersenen te produceren versnelt men het leerproces. Ook hier werkt het weer volgens de GAN-methode: de discriminator (criticus) en de generator (artiest) werken samen om gefingeerde MRI-scans (synthetische data)¹⁷ te produceren met correlaties (hoe zien gezonde hersenen, bloedproppen, en gezwellen eruit?) die vergelijkbaar zijn met de echte MRI-scans. Plotseling kunnen er heel veel scans worden geproduceerd die zonder problemen kunnen worden uitgewisseld en gebruikt om andere modellen te trainen.

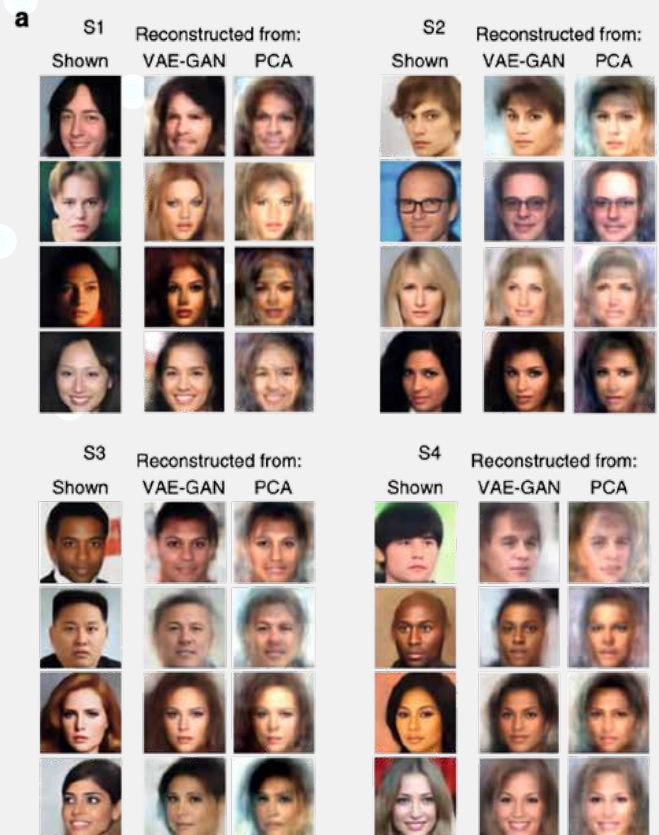
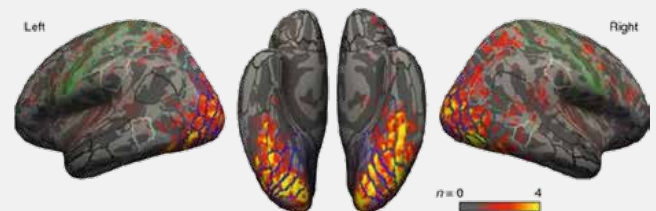


Een Deep Convolutional GAN (DCGAN) creëerde synthetische MRI-scans van hersenen, gebaseerd op 96 echte MRI's. Niet van echt te onderscheiden door een leek, maar ook radiologen hadden het vaak bij het foute eind. De onderzoekers concludeerden dat deze synthetische data een uitkomst zijn voor 'datahongerige' technieken, zoals supervised machine learning. Volgens een rapport van marktanalysebureau Cognilytica zal de markt voor dit labelen van data door derde partijen groeien van \$ 150 miljoen in 2018 tot meer dan \$ 1 miljard in 2023.¹⁸

C) Neurosciences: een breindecoder die ziet wat je ziet

Twee onderzoekers van het breininstituut in Toulouse hebben een manier gevonden om met behulp van GAN-technologie beelden van de gezichten van mensen te reconstrueren rechtstreeks vanuit de neurale activiteit in de visuele cortex. In dit geval zijn GAN's dus in staat als tolk-vertaler op te treden tussen brein en beeld; ze schakelen snel van het ene medium (hersengolven) naar het andere (beeld). Het is uitgebreid beschreven in een artikel in *Nature* van deze zomer genaamd 'Reconstructing faces

from fMRI patterns using deep generative neural networks'.¹⁹ Via fMRI-techniek wordt een 3D-beeld van de hersenen gegenereerd, waarna de hersenactiviteit wordt omgezet in beeld. In totaal bestond de dataset uit 8000 foto's die in hoog tempo een voor een werden vertoond. In de linkerkolom staan de gezichten die de deelnemers te zien kregen, rechts staan twee kolommen met gereconstrueerde foto's vanuit de gemeten breinsignalen. De middelste kolom geeft de resultaten weer die de GAN-methode opleverde, de rechterkolom geeft de resultaten van een andere methode (PCA: Principal Component Analysis). De GAN-methode levert duidelijk een superieure kwaliteit.



Via fMRI en VAE-GAN wordt een 3D-beeld van de hersenen gegenereerd, waarna de hersenactiviteit wordt omgezet in beeld.

Conclusie 3:
Data-augmentatie versnelt het leerproces van GAN's
 De synthetische data die GAN's produceren, kunnen worden gebruikt om neurale netwerken versneld te trainen. Dit bespaart geld en tijd.



Breininterfaces zijn niet nieuw, maar de GAN-aanpak levert een veel hogere kwaliteit. Kijk bijvoorbeeld naar het verschil van een breininterface van een kleine tien jaar geleden uit een onderzoek van Berkeley University.²⁰ De vrouw in de video (zie onder) is slechts een schim, terwijl de nieuwe GAN-beelden een herkenbaar resultaat opleveren. Wat wel opvalt is dat bij de gezichten van mensen met een Aziatisch uiterlijk, de gelijkenis veel minder is (zie bijvoorbeeld het vierde en het zesde gezicht in de eerste kolom van de afbeelding op de vorige pagina). Waarschijnlijk doordat er te weinig Aziatische gezichten in de trainingsset voor het GAN zaten, waardoor er bias in het systeem is geslopen.



Er wordt al jaren geprobeerd om hersenactiviteit te vertalen naar beeld. Dit voorbeeld is van een kleine tien jaar geleden uit een onderzoek van Berkeley University.

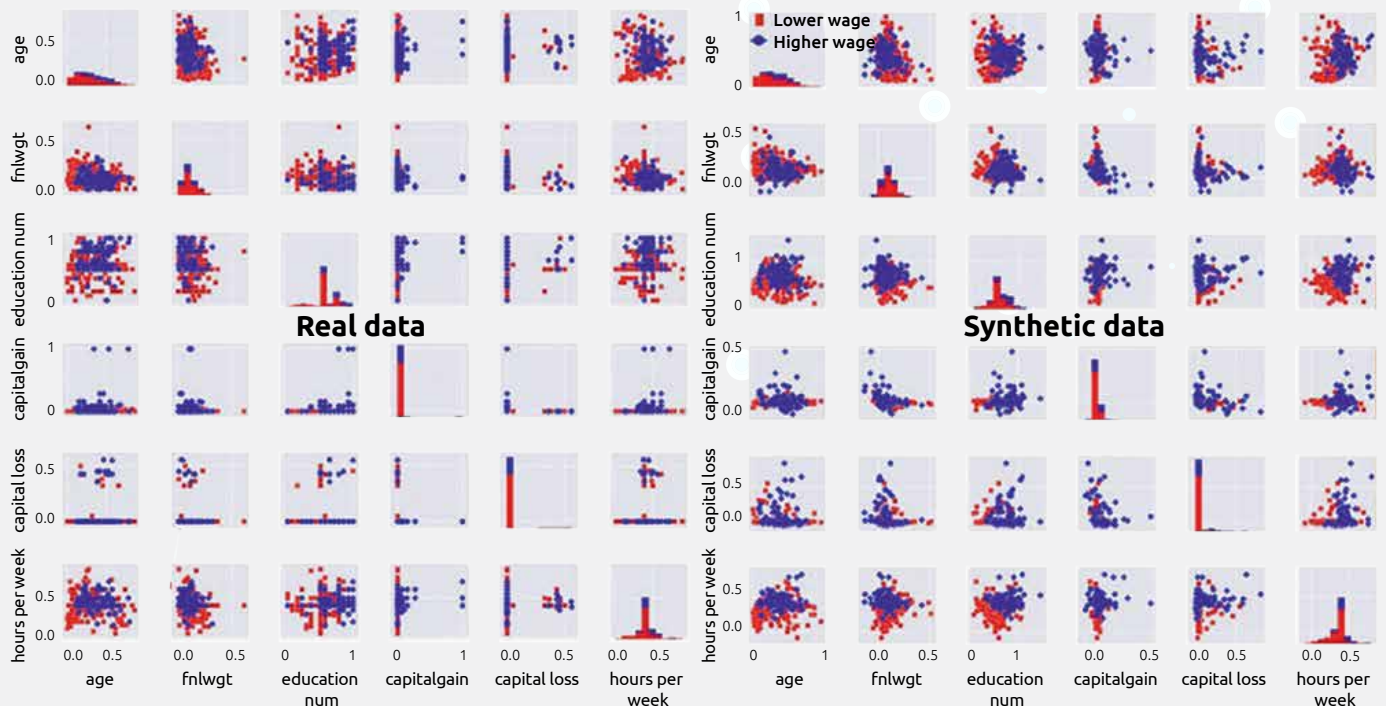
Conclusie 4:
Breininterfaces worden realistischer
GAN's werken als tolk-vertaler van het ene medium naar het andere. In het geval van de beschreven decoder-breininterface gaat het om het vertalen van hersenactiviteit naar beelden met een relatief hoge kwaliteit.

D) Sociale wetenschap: GAN's omzeilen privacyvraagstukken

Er zijn beperkingen als we werken met systemen die persoonlijke data bevatten. Het testen van die systemen is lastig omdat er altijd voorwaarden en risico's aan verbonden zijn in verband met privacywetgeving. Synthetische data zijn per definitie anoniem omdat ze geen betrekking hebben op daadwerkelijk bestaande personen.²¹ Om deze reden werkt het Noorse bevolkingsregister inmiddels met gefingeerde inwoners om hun softwaresystemen te testen. Ook de Britse overheid toont interesse. In een onderzoek dat in Groot-Brittannië is uitgevoerd,²² zijn vier verschillende GAN-architecturen getest en bleek er een, in dit geval WCGAN (Wasserstein Conditional GAN), het beste om de distributie van bevolkingsdata na te bootsen. Na 5000 iteraties van het model ziet u links de echte data en rechts de GAN-data. In één oogopslag ziet u dat de verschillende databronnen niet veel van elkaar afwijken. Ideaal om problemen met de Algemene verordening gegevensbescherming (AVG) te voorkomen bij de ontwikkeling en het testen van systemen die werken met gevoelige persoonlijke data.

Het datascienceteam van Sogeti heeft een nieuwe dienst in de markt gezet die op deze behoefte inspeelt. De naam Artificial Data Amplifier (ADA)²³ dekt de lading: de synthetische data versterken de bestaande data. Hoewel de focus van ADA ligt op het creëren van synthetische data voor het oplossen van privacyvraagstukken, biedt ADA ook meer mogelijkheden voor de inzet van deze GAN-technologie. Omdat GAN's zo breed inzetbaar zijn, is het voor marketingredenen vaak interessant om een focus te kiezen, in dit geval een issue waar veel organisaties mee te maken hebben.

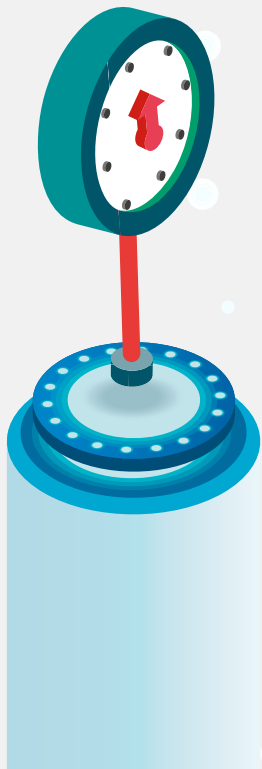
Conclusie 5:
GAN's omzeilen privacyvraagstukken
 Het genereren van een synthetische dataset die de echte data vervangt, biedt de mogelijkheid systemen te testen zonder het risico te lopen dat privacygevoelige data op straat komen te liggen.



In een onderzoek dat in Groot-Brittannië is uitgevoerd, bleek het WCGAN (Wasserstein Conditional GAN) het beste om de distributie van bevolkingsdata na te bootsen. Na 5000 iteraties van het model ziet u links de echte data en rechts de synthetische GAN-data.

2.2 Design, mode, smaak

We maken de stap van de wetenschap naar de wereld van (digitaal) design en mode. We beginnen met een mooi voorbeeld hoe in het designproces van games tijd gewonnen kan worden met de inzet van GAN's en ontdekken dat de GAN-markt voor design behoorlijk aan het professionaliseren is. Er komen steeds meer tools op de markt. Wie snel een overzicht wil zien van de mogelijkheden, verwijzen we graag naar de website Algorithms.design van een Russische ontwerper die alle ontwikkelingen op het gebied van design en GAN's netjes bijhoudt. De tools zijn netjes gerubriceerd in vijf categorieën: het maken van userinterfaces, contentcreatie, het personaliseren van de user experience, grafisch ontwerp en industrieel ontwerp & mode.



Conclusie 6:
Procedureel modelleren in plaats van zelf fröbelen scheelt tijd
GAN's tonen de toekomst van (game) design. Er wordt tijd en geld bespaard door minder gefröbel en de ontwerper kan zich meer met de concepten bezighouden en procedureel modelleren.

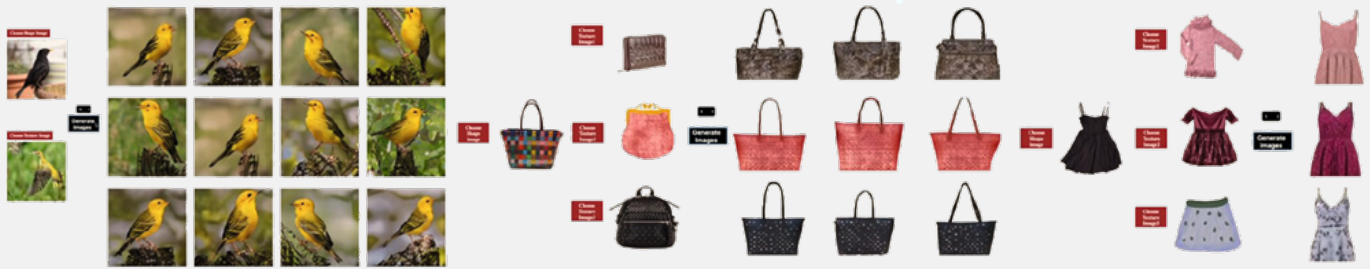
A) Design van games: een einde aan het gefröbel

Het kost veel tijd en moeite om een digitaal ontwerp te maken voor een object in een game. Andrew Price, een jonge, beroemde game developer, rekende voor hoeveel het kost en ziet de toekomst van GAN's weggelegd in het gamedesign. Hij maakte een eenvoudige berekening. Voor het creëren van een gebouw, van ontwerp tot aan textuur tot aan belichting, is een gemiddelde ontwerper al snel zo'n 66 uur bezig. Bij een gemiddeld uurtarief kost een kant-en-klaar huis zo'n \$ 3.900. Een compleet ingerichte straat kost dan al snel een kleine \$ 200.000, wat significant bijdraagt aan de enorme kosten van de ontwikkeling van een videogame.



Andrew Price gaf in deze virtuele straat alle items een prijskaartje en kwam tot de slotsom dat het bij elkaar zo'n \$ 200.000 kost om die te bouwen.

Price legt uit dat wanneer hij een 3D-interieur van een huis bouwt, hij de meeste tijd kwijt is (50 tot 70 procent van zijn tijd) aan het finetunen van het ontwerp om tot perfectie te komen. Bijvoorbeeld om te bepalen of een andere verlichting van de ruimte niet beter staat, of wijnflessen wel of niet op een tafel moeten staan, of er wel of geen koelkast in de ruimte moet staan, om uiteindelijk tot het beste plaatje te komen. Dat gefröbel kost hem heel veel tijd, omdat iedere wijziging moet worden uitgezocht en ingebouwd (en mogelijk weer weggegooid). Met GAN's kunnen die zaken eenvoudigweg door een computer worden gegenereerd (en wel of niet worden gebruikt). De computer helpt hem in zijn creatieve proces en dat kan enorm veel tijd besparen. Als andere tijdswinst noemt Price het procedureel modelleren (als vervanging van een statische werkwijze, waarbij alles iedere keer van begin af aan moet worden opgebouwd). Je geeft een aantal parameters op van een gebouw: het aantal ramen, deuren en verdiepingen en de textuur van het gebouw, en dan genereert het AI-algoritme een serie voorbeelden waaruit je slechts hoeft te kiezen. Dat modelleren kan ook op andere manieren, zoals we in het volgende voorbeeld zien.



De twaalf afbeeldingen van vogels zijn door de AI gegenereerd. Idem voor het ontwerp van de tassen en jurken.

B) Kledingdesign en advies van goede smaak

We zeiden het al, er komen steeds meer GAN-tools op de markt voor design. Adobe toonde op zijn MAX-conferentie in november 2019 het 'Project Image Tango'. Op basis van GAN-technologie genereert de software nieuwe ideeën voor het ontwerp van tassen, jurken en bijvoorbeeld vogels. Wat steeds werd benadrukt, was dat deze ontwerpen hiervoor nog niet bestonden en dat ze nergens op internet te vinden zijn. Een simpele schets van bijvoorbeeld een vogel is voldoende om een verbluffend natuurgetrouwe (synthetische) afbeelding van een niet-bestaande vogel te genereren. De gewenste stijl en kleuren worden vanuit voorbeelden geïmporteerd, waarna de software keer op keer unieke exemplaren genereert.²⁴

In een project van Zalando Research wordt een met de Adobe-software vergelijkbaar concept toegepast. In hun paper 'Disentangling Multiple Conditional Inputs in GAN's'²⁵ veranderen de onderzoekers de textuur en kleur van het kledingstuk, maar ze werken ook aan een interface om een kledingstuk te ontwerpen aan de hand van een eenvoudige tekening. Nu al heel handig voor designers, maar mogelijk in de toekomst ook voor klanten. Het principe is hier dat op weg van tekening naar ontwerp steeds arbeidsintensieve stappen worden overgeslagen omdat die met de AI worden geautomatiseerd.



Boven de gecreëerde jurken door een GAN, waarbij de vorm en de kleurcombinatie vooraf bepaald zijn. Onder is het zwarte plaatje een met de hand geschetst kledingstuk. Het GAN maakt er automatisch een plausibel kledingstuk van.

Conclusie 7: GAN's verkorten de ontwerptijd aanzienlijk

Er komen steeds meer GAN-tools op de markt die de designtijd verkorten en suggesties doen voor nieuwe ontwerpen. Van schets naar uniek product gaat nu in sneltreinvaart.

GAN's die smaakadvies geven en mensen streetwise maken

Een stap verder dan het ontwerpen van een kledingstuk is advies geven wat iemand moet dragen. Kun je beter je overhemd in je broek doen of een truitje dragen in plaats van een blouse? Over dit vraagstuk heeft een aantal academici zich gebogen en ze zijn er uiteindelijk in geslaagd om 'goede smaak' in een model te vangen en kledingadvies te geven. Het systeem heet Fashion++. Aan de basis ligt een set van 10.000 foto's uit de verzameling van Chictopia.com, 'a content archive for the history of the fashion community'. Deze bevat foto's van influencers in de nieuwste outfits. Het AI-systeem is in staat details te

herkennen zoals de textuur, vorm en kleur en het patroon van de kleding. Vervolgens verwijdert het systeem de kleding en voegt er bewust niet-modieuze kleding aan toe, wat noodzakelijk is om uiteindelijk een zogenaamde 'fashionability classifier' te maken. Als iemand nu een foto toevoegt met zijn of haar kleding, komt de computer met een alternatief dat meer 'stylish' is dan wat er op de foto staat. Het bijzondere van Fashion++ is dat niemand heeft gezegd wat 'fashionable' is of niet, het systeem heeft het zichzelf aangeleerd. Waarom iets modieus is, of modieuzer dan iets anders, is door een mens vaak moeilijk onder woorden te brengen.

Conclusie 8: Stijladvies van de computer aan de mens werkt goed

GAN's kunnen mensen adviseren wat ze moeten dragen om er meer 'fashionable' uit te zien, zonder dat ze geleerd hebben wat fashionable is.

2.3 Ontwerp in architectuur en industrie

We presenteren hier drie cases die een beeld schetsen van mogelijke toepassingen in architectuur en industrie. We beginnen met architectuur. Net zoals we bij het design van computergames zagen, is er winst te behalen in het ontwerpproces van industriële producten en bij het ontwerp van echte gebouwen. De eerste stappen zijn gezet met de ontwikkeling van een zogenaamd archi.GAN. Vervolgens kijken we naar het design van producten. Generative design is een term waarmee de industrie al langer bekend is. Generatieve AI sluit perfect aan bij deze ontwikkeling. Als laatste kijken we naar het opsporen van mankementen voor onderhoud en predictive maintenance.

A) ArchiGAN toont de toekomst van architectuur

De manier waarop woonruimtes worden ontworpen, is al lang geleden verschoven van papier naar computerschermen en van potlood naar CAD-software. NVIDIA heeft nu een stappenplan klaarliggen²⁶ om GAN's het werk te laten doen. Het heet 'ArchiGAN: a Generative Stack for Apartment Building Design'. Het bevindt zich

allemaal nog in een pril stadium. Zo wijst NVIDIA erop dat ze niet garant kunnen staan voor de berekeningen van wat muren in gewicht kunnen dragen als er meerdere verdiepingen worden gebouwd. Stanislas Chaillou, werkzaam bij NVIDIA, toont in zijn afstudeerproject²⁷ bij Harvard hoe hij GAN's gebruikt om plattegronden voor een gebouw te genereren en te analyseren. Onder andere de textuur en dikte van muren, de oriëntatie, circulatie en connectiviteit worden meegenomen in het design. Chaillou prefereert een zogenaamde 'Grey Boxing'-aanpak, waarbij de mens op meerdere punten het ontwerp kan sturen. Dit in tegenstelling tot een black box, waar de mens van tevoren input geeft en het daarna maar moet doen met de output. Zijn GAN-modellen kunnen bijvoorbeeld flexibel zijn wanneer de mens bepaalde gedachten heeft over meubels en andere dimensies.



Via een handige UI interacteert de gebruiker met het ontwerp. Met een simpele muisklik worden de ruimte, deuren, ramen, et cetera veranderd en het GAN creëert vervolgens een mogelijke indeling.²⁸

Conclusie 9: De eerste stappen in architectuur zijn gezet

GAN's hebben de eerste stappen gezet voor de architectuur van fysieke gebouwen. Zo kunnen we wegdromen over toekomstmogelijkheden met geautomatiseerde creativiteit, maar we zijn er nog niet.



Generatief ontwerp van Autodesk voor NASA's verkenning naar Jupiter en Saturnus dat lichter en sterker is en alleen door 3D-printing kan worden gefabriceerd.



Boven 'generative design'-ontwerpen voor het bekende Volkswagen T2-busje, onder ontwerpen voor een General Motors-stoelbeugel waar de veiligheidsgordel aan wordt vastgemaakt.

B) Industrial design dat met organische oplossingen komt

Omdat NASA zijn zinnen heeft gezet op de verkenning van de manen van Jupiter en Saturnus, heeft de ruimtevaartorganisatie behoefte aan nog lichtere, maar minstens zo sterke materialen. NASA werkt hiervoor onder andere samen met Autodesk en hun creatieve generatieve AI.²⁹ Hier presenteert het algoritme een weliswaar verrassende maar meer optimale oplossing. Interessant daarbij te vermelden is dat de gegenereerde structuren niet via conventionele fabricage te realiseren zijn maar dat 3D-printingstechnologie vereist is.

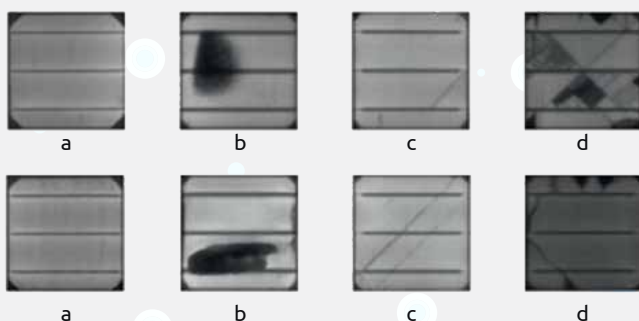
Ook autofabrikanten experimenteren in toenemende mate met de creatieve ontwerpen van generative-designprocessen. Dikwijls ziet de uitkomst er nagenoeg 'organisch' uit, doordat de software veel nauwkeuriger berekeningen maakt over de krachten die de onderdelen moeten weerstaan. Hiernaast ziet u ontwerpen voor het bekende Volkswagen T2-busje,³⁰ eronder ontwerpen voor een General Motors-stoelbeugel waar de veiligheidsgordel aan wordt vastgemaakt. Het ontwerp is 40 procent lichter en 20 procent sterker dan het origineel.³¹

Conclusie 10: GAN's en 3D-printing in de industrie bieden mogelijkheden

Generative design van industriële producten bestaat al langer. Generatieve AI ligt in het verlengde hiervan. Met name de combinatie van GAN's en 3D-printing is interessant.

C) Foutendetectie, predictive maintenance en simulatie

Er zijn twee methoden om de energie-efficiency van zonnepanelen te onderzoeken. De ene is door naar de energieproductie te kijken, maar helaas haalt deze er niet alle fouten uit. De andere methode heet elektroluminescentie,³² waarbij 'een afbeelding' wordt gemaakt van de energieproductie. Het is een veelgebruikte methode, maar het nadeel is dat het aardedonker moet zijn om die beelden te maken en bovendien vereist het labelen van de fouten veel (gespecialiseerde) mensenkennis. Op een internationale conferentie over de toekomst van de energievoorziening werd een GAN-model getoond dat de kwaliteit van elektroluminescentie met 14 procent wist te verbeteren. Hier is dezelfde techniek toegepast – synthetische data-augmentatie – als bij de MRI-scans in het voorbeeld op pagina 14.



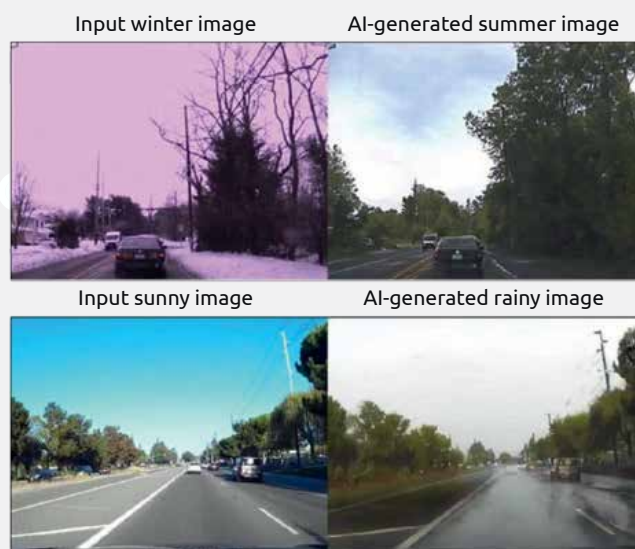
De bovenste rij toont originele beelden van afwijkingen in zonnecellen. De onderste rij toont de door het GAN gegenereerde beelden. Uiteindelijk was het model met toevoeging van deze synthetische data 14 procent beter in het herkennen van afwijkingen in zonnecellen.

Predictive maintenance

Voorspellen wanneer fouten gaan ontstaan is al langer een trend, met name in de automotive-industrie. Fujitsu ontwikkelde een AI-systeem dat vroegtijdig afwijkingen detecteert op basis van in-flight-sensordata afkomstig van de helikopters van Airbus. Het toegepaste algoritme (MAD-GAN: Multivariate Anomaly Detection with Generative Adversarial Networks) helpt flight engineers om een enorme hoeveelheid testvluchtdata te analyseren en snel te focussen op mogelijke problemen, wat een enorme tijdsbesparing oplevert.³³ Daarnaast wordt op verschillende plekken onderzocht welke GAN's de beste en meest efficiënte synthetische data ontwikkelen om predictive maintenance te optimaliseren.^{34, 35}

Fouten voorkomen door simulatie

Het spreekt tot de verbeelding: een vloot van zelfrijdende auto's hoeft niet langer miljoenen kilometers af te leggen, maar kan gewoon in de garage blijven staan. Datasimulaties met behulp van GAN-technologie bieden namelijk de mogelijkheid levensechte situaties te simuleren.³⁶ Ze veranderen de winter eenvoudig in de zomer, of droog weer in regenachtig. Voor het testen van zelfrijdende auto's in simulatiewerelden is dat een handige toepassing.



Via GAN's kunnen weersomstandigheden in een foto of video gewijzigd worden, wat bijvoorbeeld meer trainingsdata oplevert voor zelfrijdende auto's.

Conclusie 11:
GAN's voorspellen en detecteren fouten
GAN's spelen een rol bij het efficiënter opsporen van mankementen, bijvoorbeeld bij zonnepanelen, bij het voorspellen waar problemen gaan ontstaan (predictive maintenance) en bij het voorkomen van fouten door simulaties.

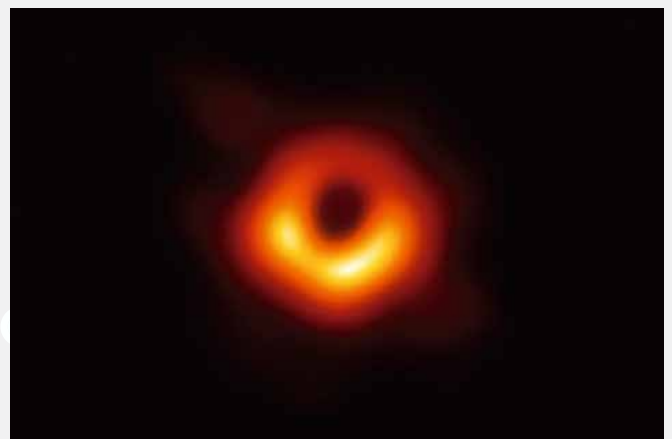
2.4 Synthetische media en kunst: nep is het nieuwe echt

Voor het overbrengen van boodschappen, zij het via media of via kunst, worden GAN's inmiddels dankbaar gebruikt – al dan niet in experimentele setting. We schetsen hier de kwaliteiten van het GAN als tolk-vertaler van het ene medium naar het andere. We noemden het al eerder: GAN's kunnen als een soort lingua franca dienen. En we tonen nog meer bijzondere mediakwaliteiten, zoals het zogenaamde upscalen van oude films tot en met het zichtbaar maken van wat onzichtbaar is. Een belangrijkere constatering is dat het verkorten van de creativi-tijd niet altijd een zinvol doel is. In het geval van de kunst kun je stellen dat de tijd die een kunstenaar in het werk heeft gestoken, een onderdeel is van de waarde die men eraan toedicht. Een tweede constatering is dat deepfakes, waarmee je mensen kunt manipuleren, een ontregelend karakter en consequenties hebben die nog niet geheel overzien worden.

A) Het onzichtbare zichtbaar maken, uitgummen en upscalen

Het was het mediamoment van 2019, de foto van een zwart gat. Voor de eerste keer zijn mensen erin geslaagd een foto van dit fenomeen te maken. Bij het zien van de foto realiseren de meeste mensen zich niet hoe het beeld tot stand is gekomen. De foto is een compositie die gesynthetiseerd is uit verschillende beelden die gemaakt zijn door de Event Horizon Telescope (EHT), een grote samengestelde telescoop die bestaat uit een wereldwijd netwerk van radiotelescopieën. Het is een virtuele radiotelescoop die zo groot is als de aarde zelf. Middels een atoomklok waren alle telescopische sensoren in staat om op exact hetzelfde moment een 'beeld' te schieten van het zwarte gat dat zich in sterrenstelsel M87 bevindt. De gebruikte sensoren detecteren alleen radiogolven, die voor het menselijk oog niet waarneembaar zijn. De elektromagnetische informatie moest vervolgens worden omgezet in digitale informatie, voordat deze gebruikt kon worden om met behulp van kunstmatige intelligentie (waaronder GAN's) een visueel beeld te genereren. Het totale proces nam 2 jaar aan computertijd in beslag en wereldwijd waren er 347 wetenschappers bij betrokken.

De foto is een mijlpaal, en niet alleen voor de wetenschap. Hij markeert ook het beginpunt van een nieuw soort media, zogeheten 'synthetische media'. Dit zijn door kunstmatige intelligentie gemanipuleerde of gecreëerde media, zoals afbeeldingen, geluid, tekst, video en virtuele ervaringen. Deze media zijn regelmatig zo realistisch dat voor de leek niet meer te achterhalen is of iets echt of nep is. De afbeelding van het zwarte gat helpt om de aard van synthetische



Voor het eerst zijn mensen erin geslaagd een foto van een zwart gat te maken. De foto is een voorbeeld van een nieuw soort media, zogeheten 'synthetische media': door kunstmatige intelligentie gemanipuleerde of gecreëerde media, zoals afbeeldingen, geluid, tekst, video en virtuele ervaringen.

media beter te begrijpen. Dit illustreert dat gesynthetiseerde informatie niet per definitie onbetrouwbaar, bedrieglijk of vals is. De afbeelding is dermate betrouwbaar dat ze tot een verhoging van onze menselijke kennis leidt en de wetenschap hier nu op voort kan borduren. Met behulp van dit beeld kunnen bestaande theorieën getoetst worden en nieuwe gecreëerd.

Andersom kan het ook: wat zichtbaar is onzichtbaar maken. Uit de toolkit van technologiebedrijf NVIDIA zien we hier hoe beelden worden uitgegumd (links) en het originele beeld automatisch wordt opgevuld met levensechte details. Je kunt niet meer zien dat hier is gefotoshopt. We raken de grip op de realiteit hier kwijt.

Een tussenvorm is het zogenaamde upscalen van materiaal. Wie de nieuwste *Lion King* heeft gezien, weet hoe angstvallig dicht deze synthetische beesten de werkelijkheid benaderen. Oude films en foto's zien er meestal vanwege de lage resolutie en het geringe aantal beelden per seconde niet heel erg echt uit. Een recent maar nu al iconisch voorbeeld van upscale-kunst is de 'Aankomst van een trein op het station van La Ciotat'. Dit is vaak genoemd als de geboorte van de film. In de 50-secondenproductie van de gebroeders Lumière zien we korzelig en schokkerig een trein aankomen en mensen instappen. Het is nauwelijks voor te stellen dat in 1896

mensen uit angst voor de aanstormende trein de zaal ontvluchtten. Althans, zo gaat de mythe. Op YouTube (zie de link in de noten³⁷) kunt u zien wat ontwikkelaar en YouTuber Denis Shiryayev met hulp van Gigapixel AI ervan heeft gemaakt. Het neurale netwerk DAIN voegde vervolgens nieuwe beelden toe aan de originele frames van de video door zich voor te stellen hoe de ontbrekende beelden eruit



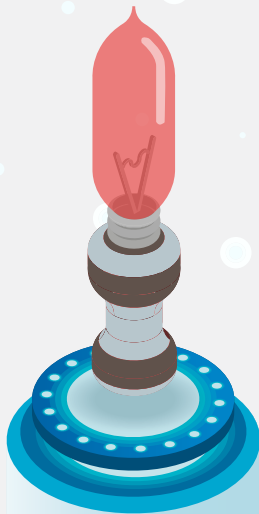
Elementen worden uitgegumd (links) en het originele beeld wordt automatisch opgevuld met levensechte details. In dit geval neemt de machine de benodigde vaardigheden voor foto- en videobewerking over.



De 125 jaar oude film *Aankomst van een trein op het station van La Ciotat* is via GAN's bijgewerkt naar 4K resolutie en 60 fps en daarna via DeOldify-software ingekleurd.

moesten zien. Het eindresultaat is een 4K (een resolutie van 3.840 bij 2.160 pixels) videoclip met een beeldsnelheid van 60 frames per seconde. En er was nog ruimte voor verbetering. Kort na het uploaden van de originele video deelde Shiryayev een gekleurde versie, gemaakt via DeOldify-software, die er in feite uitziet als een korte film uit de jaren zeventig.³⁸ Het is een uitstekende herinterpretatie en een bewijs van de kracht van synthetische media om video-beelden te manipuleren.

Niet alleen oude films, ook Albert Einstein, Marilyn Monroe en de Mona Lisa worden met behulp van GAN's tot leven gewekt. Onderzoekers uit Rusland van Samsungs AI Lab animeerden met GAN-technologie stilstaande beelden, zodat de beelden konden glimlachen of hun lippen bewogen alsof ze aan het praten zijn.³⁹ Het is een nieuwe vorm van foto- en videobewerking die tot voor kort ondenkbaar was, maar nu relatief eenvoudig is geworden.



Conclusie 12:

GAN's maken het onzichtbare zichtbaar
GAN's openen de deuren voor synthetische media. Door de computer gegenereerde of aangepaste beelden maken het onzichtbare zichtbaar, zoals een zwart gat, of maken de wereld echter dan echt door zwartwitbeelden in te kleuren of de kwaliteit van beelden kunstmatig te verhogen.

B) Tolk-vertaler: van het ene medium naar het andere

Verschillende onderzoekers hebben zich gestort op de vraag of je linea recta van een tekst een beeld of een video-productie kunt maken. Zo sla je een heel proces van het maken van animaties in een klap over. De voorbeelden die we hier geven, staan symbool voor de lingua-francafunctie van AI, van tekst naar beeld, van beeld naar tekst of van tekst naar geluid. Als een musicus gewoon door te vragen een wat meer uptempo achtergrondje van een saxofoon tevoorschijn kan toveren, wordt muziek componeren een stuk gemakkelijker. De choreografie onder de clip kun je vervolgens door een GAN laten uittekenen.



De vertaling van muziek naar dans wordt mogelijk gemaakt dankzij het Music-to-Movement-GAN. Het MM-GAN vertaalt muziek direct naar een bijpassende choreografie. De gegenereerde choreografie is afgestemd op de beat, de muziekstijl en de diversiteit van de pasjes.⁴⁰

Onderzoekers van onder andere Microsoft en Tencent ontwikkelden aldus een manier om een GAN een verhaal te laten vertellen in plaatjes door alleen een tekst in te voeren. Ze noemen het toepasselijk 'StoryGAN'.⁴¹ Scriptschrijvers voor animatiefilms kunnen binnenkort direct vanuit hun geschreven tekst een (concept-) film genereren.

Hetzelfde kunstje is vertoond met video's van de Flintstones. Het is na te lezen in het wetenschappelijk paper met de aansprekende titel 'Imagine This! Scripts to Compositions to Videos'.⁴² Daar zien we Fred en Wilma Flintstone in actie komen zodra de zinnen zijn ingetikt. 'Fred doet de koelkast open' of 'Wilma loopt het huis uit' wordt direct gevisualiseerd en in een bewegende animatie omgezet. Of zoals hiernaast, waar Wilma met Fred aan het praten is in de eetkamer.

Het flippen van het ene medium naar het andere gebeurt ook van beeld naar beeld. Met het zogenaamde CycleGAN⁴³ worden van katten honden gemaakt, van appels peren of, zoals in de afbeelding hieronder, van paarden zebra's (linksboven; in stilstaand beeld en in bewegende video). Het CycleGAN verandert ook een schilderij in een foto (rechtsboven) of een foto naar een schilderij in de stijl van uw favoriete kunstenaar (onder).

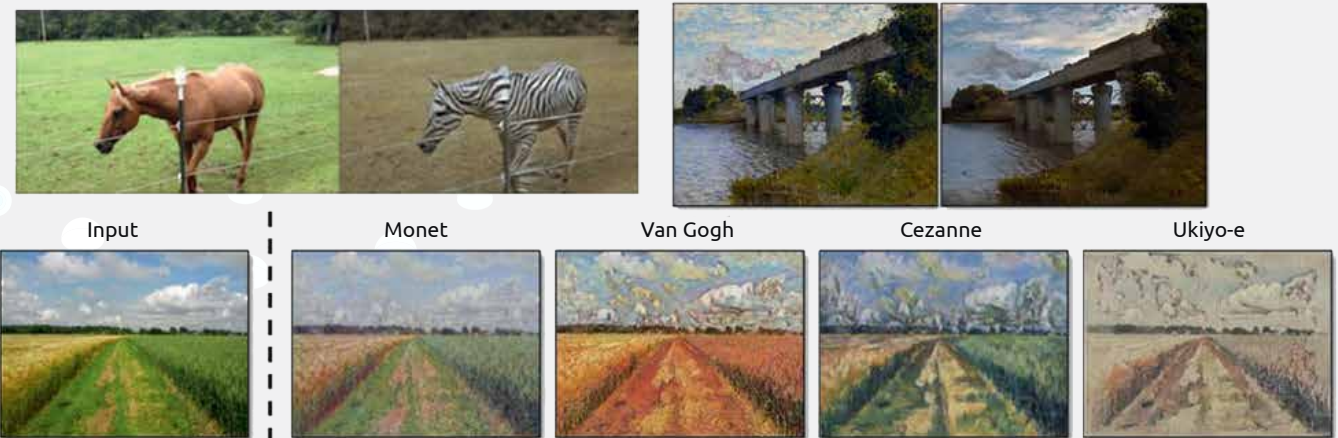


Scriptschrijvers voor animatiefilms kunnen binnenkort wellicht direct vanuit hun geschreven tekst t een (concept-)film genereren. De technologie is nog niet perfect, maar lijkt veelbelovend.

C) Creëren van nieuwe werkelijkheden

Voor wie zich nog afvraagt hoe waarheidsgetrouw de door GAN's gegenereerde synthetische media zijn, is het interessant om te kijken naar de verbazingwekkende verbetering in de afgelopen jaren van GAN's die afbeeldingen van menselijke gezichten genereren. Een bekend voorbeeld is de website Thispersondoesnotexist.com, waar de bezoeker wordt geconfronteerd met de echtheid van de nepgezichten. Er zijn ook door GAN gegenereerde stockfoto's, bijvoorbeeld de 100.000 op <https://generated.photos/>, waar u afbeeldingen van synthetische mensen vindt voor uw (marketing)doeleinden. Sommige zijn duidelijk nep maar andere zijn niet van echt te onderscheiden. (De maker van de site stelt alle creaties vrij van copyright en distributierechten.)

Conclusie 13:
GAN's zijn tolk-vertalers van mediatalen
GAN's kunnen in de media functioneren als lingua franca waardoor bijvoorbeeld tekst naar beeld, foto naar schilderij en muziek naar choreografie geautomatiseerd vertaald worden.



Met het zogenaamde CycleGAN worden van paarden zebra's gemaakt (linksboven; in stilstaand beeld en in bewegende video), een schilderij wordt vertaald naar een foto (rechtsboven) of een foto naar een schilderij in de stijl van uw favoriete kunstenaar (onder).



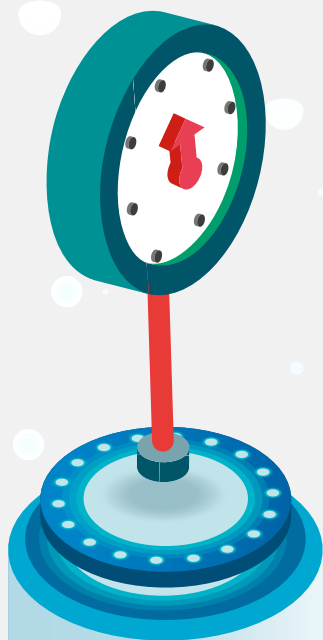
De enorme sprong in kwaliteit die synthetische data hebben gemaakt sinds Ian Goodfellow in 2014 met zijn GAN-concept kwam. Van links naar rechts door de computer gegenereerde gezichten van mensen die niet bestaan. We zien de kwaliteit per jaar drastisch vooruitgaan.

Een krachtig staaltje van het creëren van nieuwe werkelijkheden is een audiofragment van de speech die John F. Kennedy klaar had liggen, maar die hij vanwege de aanslag op zijn leven nooit heeft uitgesproken. Luister naar 'JFK Unsilenced' en hoor hoe levensecht hij zijn speech post mortem uitspreekt.⁴⁴ Om te waarschuwen voor het gevaar van deze mogelijkheden heeft het MIT Center for Advanced Virtuality een video gemaakt van Richard Nixon. We luisteren naar de stem van een stemacteur en kijken naar alle waarschijnlijkheid naar synthetisch beeld gecreëerd door GAN's. Nixon kondigt in de video aan dat de mensen die op de maan zijn geland, op de maan zullen blijven (de video heet 'In Event of Moon Disaster'). Het is een vreemde boodschap die de mythe in stand houdt dat Nixon een dergelijke tekst daadwerkelijk had voorbereid voor het geval er iets mis zou gaan met de maanmissie.

Het is allemaal spelerei, kun je zeggen. Laten we vooral genieten van de mogelijkheden en plezier beleven aan de remakes van oude films, in sterrenstelsels kijken of lekker snel van een tekst beeldmateriaal maken. Als je je ogen en oren niet meer kunt geloven en vertrouwen, dan gaan de alarmbellen rinkelen. Dat moet zeker ook gebeuren bij Chief Information Officers die blind varen op data en feiten. Al was het alleen maar om te voorkomen dat supergeavanceerde phishingmethoden op basis van deze media-trucjes de poort wijd openzetten voor hackers. Zorgwekkend zijn fenomenen die variëren van geavanceerde phishingmethoden tot misinformatie en het zogenaamde 'liar's dividend': de beklagde kan alles ontkennen door te claimen dat de authentieke video een deepfake is.⁴⁵ Inmiddels heeft Facebook bekendgemaakt dat deepfakevideo's niet meer op hun platform toegestaan zijn.⁴⁶



GAN's zijn vaak ook de achterliggende technologie bij deepfakes. Zo horen we John F. Kennedy een speech opzeggen die hij wel geschreven heeft maar nooit heeft uitgesproken, en zien we Richard Nixon aankondigen dat de mensen die op de maan zijn geland, op de maan zullen blijven.



In december 2019 heeft het nog een netwerk van meer dan 900 nepaccounts verwijderd van zijn platforms die naar verluidt door de computer gegenereerde gezichten als profielfoto gebruikten en tot leven waren gewekt om rechtse ideologieën te stimuleren.

Zelf aan de slag met fake nieuws

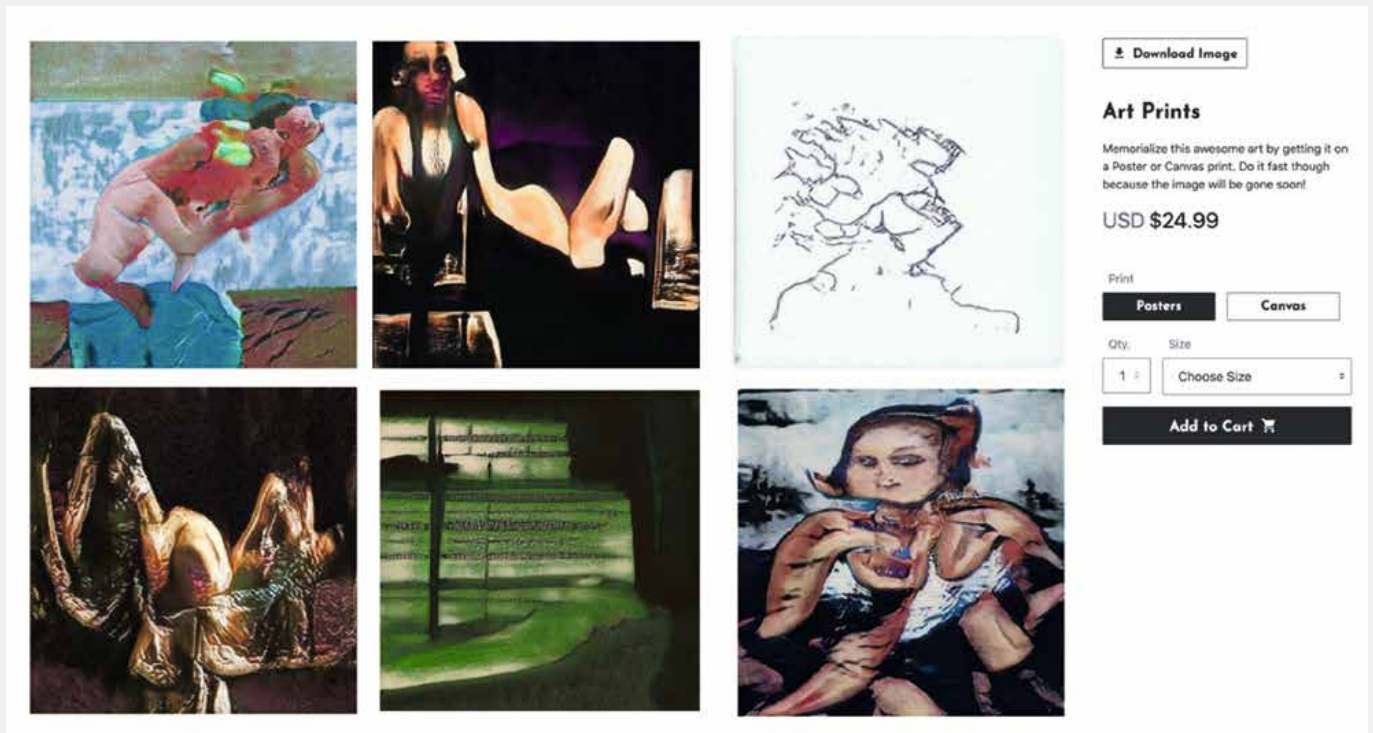
Met de recent geopensourceerde synthetische tekstgenerator GPT-2 kunt u zelf aan den lijve ondervinden welke kant het met dit soort generatieve AI opgaat. De tekstgenerator heet: <https://talktotransformer.com>. Het systeem is getraind om het volgende woord te voorspellen wanneer we aan het tikken zijn. Op basis van die kennis produceert het samenhangende (onzin)teksten van hoog niveau. Het is geopensourceerd om wetenschappers te laten werken aan een antiserum, iets dat dit soort nep teksten eenvoudig kan signaleren. De maker van GPT-2 is OpenAI, een onderzoeksinstituut uit San Francisco⁴⁷ dat in 2015 is opgericht door onder anderen Elon Musk, met als doel mensvriendelijke AI te promoten en te ontwikkelen die ten goede komt aan de mensheid. Begin dit jaar stelden ze nog dat het model niet openbaar gemaakt kon worden, omdat het te risicovol was.

Ik heb een monster gecreëerd

Een van de interessante recente (en mogelijk zorgelijke) toepassingen die voortbouwen op het GPT-2-model, komt van Dr. James Howard, cardioloog in opleiding aan het Imperial College in Londen. Hij heeft GPT-2 aan de hand van meer dan 30 miljoen citaten uit de biomedische literatuur getraind.⁴⁸ Zijn creatie is nu in staat zelfstandig nepsamenvattingen en conclusies van neponderzoek (inclusief fictieve klinische testdata en valse verwijzingen naar overheidsregistratie!) te genereren door simpelweg een willekeurige fictieve titel voor een medisch researchpaper in te geven. Het experiment tilt het nepnieuwsdebat naar een nieuw niveau. 'I have created a monster', tweette Dr. Howard toen hij de resultaten zag.

Conclusie 14: Nep is het nieuwe echt

Deepfakes zijn misschien wel de meest bekende en beruchte toepassing van GAN's. Manipulatieve nepvideo's en volledig automatische synthetische propagandamachines laten zien dat een boost in creativiteit niet per se positief hoeft te zijn.



Supersnelle GAN-kunst die na een uur weer verdwijnt. Het neurale netwerk genereert aan de lopende band kunst.

D) Kunstenaars omarmen de GAN-mogelijkheden

Kunstenaars zijn creatieve geesten die ontstaan voor hun omgeving en de ontwikkelingen. Het is dus niet zo verwonderlijk dat er volop met GAN's wordt geëxperimenteerd in kunsttoepassingen. Het is interessant om te zien hoe sommige kunstenaars kijken naar die nieuwe mix van technologie en het eigen creatief vermogen. Hier is de conclusie al gauw getrokken: GAN's zijn een waardevolle toevoeging aan het arsenaal van een kunstenaar om zichzelf uit te drukken. Dat is een waardevolle les die we ter harte mogen nemen voor de andere domeinen waarin GAN's een rol gaan spelen. Net als bij media willen kunstenaars de realiteit soms tot in detail benaderen. Op dit moment is de zogenaamde hyperrealiteit in schilderkunst weer helemaal hip en happening. Maar het thema, compressie van creativi-tijd, botst met het begrip kunst. Als we een kunstwerk beoordelen, bijvoorbeeld een schilderij, dan nemen we in onze overweging vaak de vaardigheden mee die in het proces nodig waren en de moeilijkheden die de artiest moest overwinnen om tot zijn expressie te komen. Kortom, we waarderen de tijd en de toewijding van de artiest en nemen dat in onze overwegingen mee. Vaak wordt het extra bijzonder als de artiest zijn eigen

kleuren en oliën heeft gemengd om de verf te maken in plaats van kant-en-klare verftubes uit de winkel te gebruiken. Of we waarderen het lijden, de intentie of de vooruitstrevende visie van de artiest. Volgens Margaret Boden,⁴⁹ onderzoeksprofessor cognitieve wetenschap aan de informaticafaculteit van de Universiteit van Sussex, is dit een van de problemen die mensen met digitale kunst hebben. Nieuwe vaardigheden zoals innovatief programmeren, creatieve voorbewerking en het tweaken van een neurale netwerk zijn vaak onzichtbaar, moeilijk te beoordelen en minder invoelbaar.

Bij GAN-kunst komt het erop neer dat het neurale netwerk dat door de mens is getraind, aan de lopende band nieuwe kunst kan produceren. Dat doet de digitale kunstgalerie 9gans.com bijvoorbeeld. Deze levert ieder uur nieuwe AI-schilderijen die op canvas gedrukt kunnen worden. U moet er wel snel bij zijn als u op de site iets leuks ziet, want de gegenereerde kunstwerken worden niet opgeslagen en na een uur automatisch verwijderd. Je kunt deze wegwerpschilderijen conceptuele kunst noemen vanwege het wegwerpeffect, vergelijkbaar met het werk van de bekende kunstenaar Banksy, die een schilderij automatisch door een versnipperaars liet zakken direct nadat het op een kunstveiling werd afgehamerd.

Je kunt de keuze van de tentoongestelde kunst voor een virtuele galerie aan de computer overlaten, maar meestal gaat de kunstenaar over de curatie. Daar gaat tijd in zitten, net als in het trainen van de modellen en de keuze die je als kunstenaar maakt van welke stijlen je wilt laten bedienen. De hiervoor afgebeelde schilderijen zijn gemaakt door iemand die zich 'hacker en scraper' noemt en geen kunstenaar is. Maar de werken zien er best arty uit en zouden niet misstaan bij de gemiddelde kunsttuit-leen. Ook zijn er tal van serieuze kunstenaars die met GAN-creaties bezig zijn. Wie bijvoorbeeld de video-instalatie van Hito Steyerl op de Biënnale in Venetië heeft bezocht, ziet onmiddellijk dat GAN-kunst meer om het lijf heeft dan een simpele druk op de knop. Prachtige synthetische videobeelden (GAN's) van de stad en de natuur komen als een krankzinnige droom op je af. Overal staan schermen, zijn er doorkijkjes en loop je over plankieren dwars door het kunstwerk heen. Ook Mario Klingemann, een andere kunstenaar, maakt er veel werk van. Bij een van zijn werken legt hij uit hoe hij verschillende neurale netwerken heeft gebruikt bij het maken van een videoclip. De

gezichten zijn met een pix2pix GAN gemaakt, een GAN dat specifiek ontwikkeld is om een plaatje naar een plaatje te vertalen. Klingemann heeft biometrische gezichtsmerkingen direct aangesloten op de muziek en op de speciale effecten en heeft een zelfontworpen stijltransitietechniek die hij GAN2GAN noemt en waarin hij verschillende GAN's met elkaar heeft verbonden, getraind voor betoverende gezichtsovergangen. Klingemann heeft een radicale visie op creativiteit. 'Mensen zijn niet origineel', zegt hij. Mensen, zo stelt hij, borduren voort op wat ze vroeger geleerd hebben en op wat anderen eerder hebben gebouwd. Machines daarentegen kunnen 'vanuit niets iets creëren'. De vraag wie uiteindelijk de geestelijk vader is van AI-kunst, is steeds lastiger te beantwoorden. Natuurlijk is het een samenspel, maar de handtekening van het algoritme onder het portret van Edmond de Bellamy maakt duidelijk dat we met nieuwe eigendoms-vraagstukken te maken hebben. Wie heeft het intellectueel eigendom (IP, van 'intellectual property')? In onze introductie schetsten we al dat het Europese patentenbureau nog niet klaar is voor IP in handen van een machine.



Het portret van Edmond de Bellamy werd in 2018 voor \$ 432,500 verkocht en riep nieuwe vragen op. Een GAN creëerde het schilderij, maar het idee om het GAN te voeden met een dataset van 15.000 portretten geschilderd van de 14e tot de 20e eeuw kwam van het Franse kunstcollectief Obvious.⁵⁰ Het GAN-algoritme is geschreven door Robbie Barrat en werd van GitHub geplukt. Wie is hier nu precies de schepper van het schilderij? Was hier sprake van machinecreativiteit?

Professor Ahmed Elgammal zoekt de grenzen op van wat die machines dan precies voor kunst kunnen creëren. Elgammal is professor computerwetenschappen aan de Rutgers Universiteit en directeur van The Art & Artificial Intelligence Lab⁵¹ Waar GAN's talloze variaties op de originele trainingsdata genereren, wil hij juist afwijken van de trainingsdata. Met zijn AICAN (Artificial Intelligence Creative Adversarial Network) probeert hij net genoeg van de trainingsdata af te wijken dat er 'out of the box' creaties ontstaan die nog wel aantrekkelijk zijn. Met zijn AI-kunstwerken had hij in februari 2019 een tentoonstelling in een galerie in Chelsea, New York, en is hij geregeld in de media. Hij ziet computerkunst niet als vervanger van kunstenaars, maar als creatief instrument of partner. Noem het een creatieve cobot. 'Artists have always been using new technology in making their art, and every time some technology came, it changes the way art is going. From the invention of oil paints, to the invention of print making, to the invention of photography, and I totally believe using AI in making art will be integrated into the mainstream of making art in the future.'

Conclusie 15:
GAN-kunst roept IP-vragen op
GAN-kunst roept bij uitstek nieuwe vragen op over originaliteit, creativiteit en scheppingskracht die ook relevant zijn voor patent- en IP-vraagstukken.



Kunst gegenereerd door AICAN. Toen mensen gevraagd werd naar de maker van de kunst, dacht 75 tot 85 procent van de ondervraagden dat deze kunstwerken door een menselijke kunstenaar zijn gemaakt. Ze dichten de kunst woorden toe als 'intentioneel', 'inspirerend' en 'communicatief'.

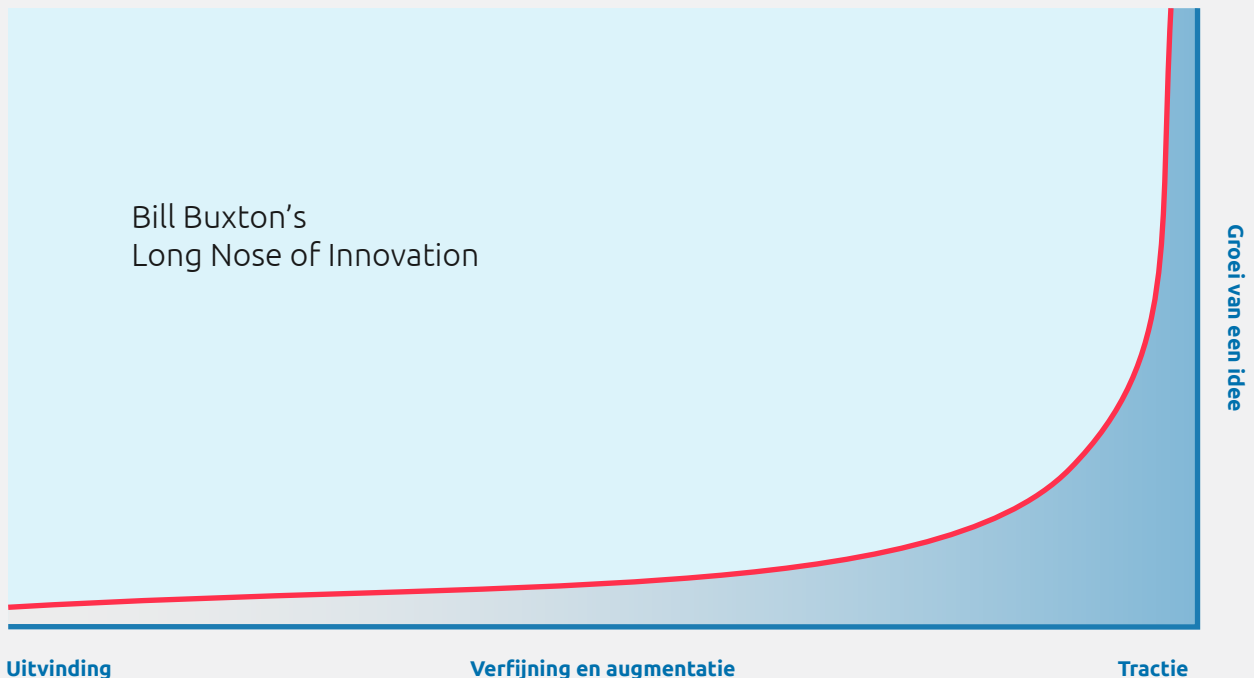
2.5 Tot slot: de korte neus van innovatie

GAN's zijn in staat om in veel kortere tijd iets te doen waar een creatieveling normaliter meer tijd voor nodig heeft – in de kunst en design, de wetenschap en de media. Of het nu gaat om een zwartwitfilm inkleuren, op zoek gaan naar een nieuw medicijn, een huis ontwerpen of een design van een nieuw product, met de inzet van GAN's comprimeren we de tijd en kunnen we eerder met een resultaat komen. De time-to-market van idee tot lancering wordt daarmee drastisch verkort en de vereiste investering verlaagd. Alle GAN-toepassingen hebben dus een ding gemeen: ze comprimeren de creativi-tijd. Bill Buxton, pionier in human-computer interaction en principal onderzoeker bij Microsoft, heeft dit tijdsprobleem centraal gesteld en uitgewerkt in een theorie die hij 'The Long Nose of Innovation' noemt. Kortweg komt die erop neer dat nieuwe innovaties er circa twintig jaar over doen voordat ze volwassen zijn. Als we dit nu eens centraal stellen en spiegelen aan de voorbeelden van de vele GAN-toepassingen, dan is de tijdsspanne van twintig jaar straks ingekort, afhankelijk van de uitvindingen waar we het over

hebben en de GAN-toepassingen uiteraard. Buxtons lange neus wordt dus een stuk korter. Het is dezelfde conclusie die het wetenschapstrio dat we in de introductie noemden, trokken. Zij kwamen met 'the invention of the methods of invention' en beloofden zelfs exponentiële economische groei op basis van de nieuwe AI-mogelijkheden.

Voor ieder domein heeft dat een andere betekenis. We hebben voorbeelden gezien waarbij GAN's helpen bij het uitvinden (van medicijnen tot kleren) en bij het verbeteren van bestaande producten (lichtere materialen ontwerpen, betere producteigenschappen) en helpen om andere technologieën tractie te geven (zoals het rendement van zonnecellen verhogen). De synthetische data als output van GAN's kunnen dienen als leerversneller c.q. ideeënversneller voor andere modellen en als katalysator voor creatieve processen en soms zijn ze het creatieve eindproduct. Als het creatieve eindproduct een mediaverschijning is (stem, beeld, tekst, video), dan heeft dat twee gezichten. Het kan een verbetering zijn van het origineel, zoals bij oude films die worden opgeschaald, of zelfs een eerste verbeelding van het origineel, zoals het beeld van een zwart gat dat niet met onze ogen waarneembaar is. Het

The Long Nose of Innovation



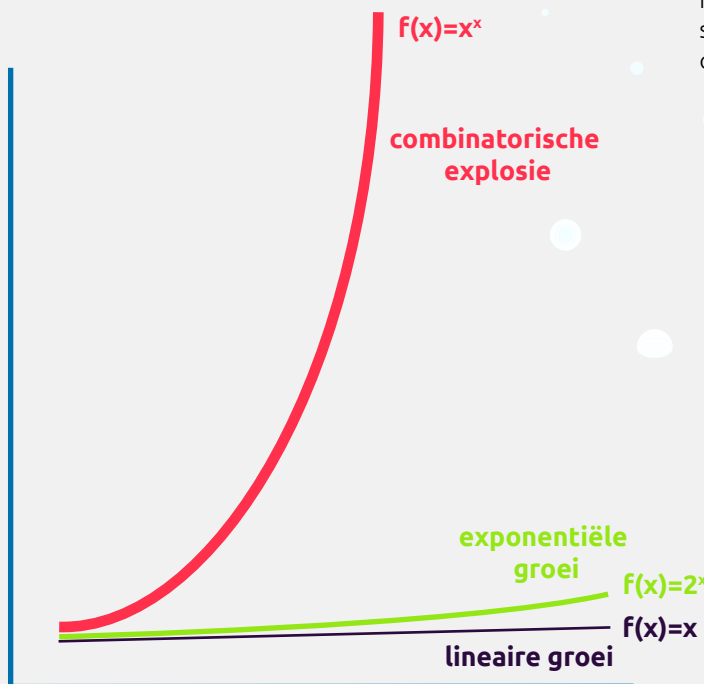
GAN's comprimeren de creativi-tijd doordat ze direct ingrijpen op de methode van het uitvinden. In die zin verkorten ze 'The Long Nose of Innovation' van Bill Buxton.

kan ook een creatie zijn van een origineel, van iets dat hiervoor niet bestond, zoals een gezicht van een niet-bestaand mens of een stem van iemand die wel echt bestaat. Deze laatste categorie van synthetische media is naast entertainend ook verontrustend. Als de time-to-market om mensen in verwarring te brengen en iets anders te doen geloven dan de waarheid, door GAN's verkort wordt, hebben we een probleem te pakken waarvan we de gevolgen nog niet volledig kunnen overzien. De korte neus van innovatie ontpopt zich als de neus van Pinokkio.

Een laatste slotnoot die we willen maken is tevens een inleidende kijk op het hoofdstuk dat volgt. De komst van GAN's biedt een nieuwe mogelijkheid om tot ideeën te komen, het is een nieuwe tool uit de rijke toolset die de mens ter beschikking staat om te innoveren. Dat raakt de essentie van innovatie, want innoveren is combineren. Het aantal combinaties neemt door dit (bijzondere) instrument eenvoudigweg toe, want het kan een explosie aan nieuwe gedachten, uitingen en vindingen creëren. We

hebben het over wat Hal Varian, Google's Chief Economist, met een mooi woord 'combinatorische innovatie' noemt: de mogelijkheid om te innoveren door combinaties te maken van reeds bestaande componenten. De onderstaande grafiek maakt in één oogopslag duidelijk hoe lineaire, exponentiële en combinatorische functies zich tot elkaar verhouden. In slechts een paar stappen komen we met duizelingwekkende getallen en uitkomsten in aanraking die het menselijke voorstellingsvermogen ver te boven gaan.

GAN's en de door hen gegenereerde kunstmatige data brengen ons in een *spiegelwereld* van de echte wereld. Talloze scenario's, simulaties, virtuele en alternatieve realiteiten en zelfs hyperrealiteit kunnen met een druk op de knop worden gegenereerd. Mensen hoeven hier slechts een selectie uit te maken, die vervolgens in de echte wereld kan worden uitgetoetst en uitgerold. Het heden is niet langer gebonden aan wat er is, maar wordt bepaald door de mate waarin de verbeeldingskracht van deze neurale netwerken erin slaagt de materiële kenmerken van het heden te herschikken. We zien een nieuwe vorm van samenwerking tussen mens en machine ontstaan, wat het onderwerp is van het volgende hoofdstuk.



x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f(x)=x$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f(x)=2^x$	0	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
$f(x)=x^x$	0	1	4	27	256	3125	46.656	823.543	16.777.216	387.420.489	10.000.000.000

De slogan dat technologische groei exponentieel is in plaats van lineair, wordt nu overtroffen door de uitspraak dat ons een combinatorische explosie te wachten staat. De ontwikkelingen zullen niet alleen sneller gaan, er zullen ook meer ideeën komen die weer gecombineerd kunnen worden. De weergegeven functies in deze grafiek en tabel symboliseren het verschil in de versnelling.



3 MENS-GAN-creativiteit

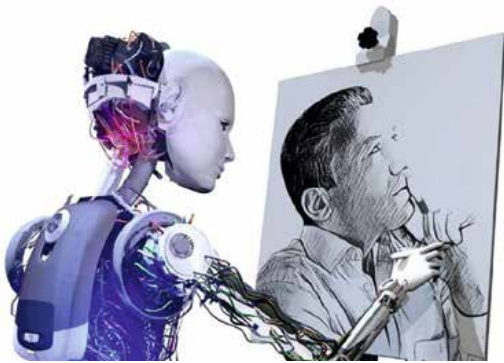
Het kijkje onder de motorkap dat we aan het begin van dit rapport gaven is ontvullend. In de technologie vindt u geen aspiraties, geen intenties, geen passie, geen emotie, geen doelen en geen bewustzijn. GAN's zijn geavanceerde analyserende rekenmachines die zoeken naar patronen en nieuwe synthetische output creëren op basis van deze correlaties. Maar als we kijken naar sommige van de voorbeelden van output genoemd in hoofdstuk 2, roepen die verwondering en verbazing op. Bij verschillende experimenten waarbij onwetende mensen muziek of kunst ervaren die door de computer was gegenereerd, raakten ze hierdoor geëmotioneerd en dichtten ze allerlei emoties en intenties toe aan de synthetische creatie. Hoe verhouden deze ontvullende kijk op de technologie en opgeroepen emoties door de output zich met de vraag die continu op de achtergrond sluimert in dit rapport?

3.1 Zijn computers nu echt creatief?

Het zal u niet verbazen dat wij deze vraag met ja beantwoorden. Want ondanks uiteenlopende meningen blijkt uit de veelvuldig geciteerde metastudie *The Standard Definition of Creativity* dat er sinds 1953 eigenlijk een simpele tweedelige definitie overheerst in academische publicaties. Dit wordt ook wel de standaarddefinitie van creativiteit genoemd en die luidt simpelweg: 'Creativiteit vereist originaliteit en effectiviteit.'⁵² En ja, computers kunnen zeker met een origineel idee op de proppen komen en effectief zijn, zoals de onvoorstelbare 37e zet die het AlphaGo-algoritme op het go-bord legde.

Er is echter een belangrijke 'maar' die vaak over het hoofd wordt gezien. Computercreativiteit is namelijk ontzielde creativiteit, fantasieloos, willoos en zonder context. Computers kunnen creatief zijn, maar dat geeft geen vrijbrief voor allerlei antropomorfistische projecties over de belevingswereld van deze machines. Keer op keer geeft de mens het doel en de randvoorwaarden aan en bepaalt de vraag die beantwoord moet worden. Het GAN analyseert, itereert, varieert, genereert en produceert. Het zou dan ook mooi zijn om computercreativiteit te zien als gewoon een andere, aanvullende vorm van creativiteit, in plaats van een vijand of juist een creatieve god. Net zoals we cognitieve en sociale intelligentie of menselijke en kunstmatige intelligentie onderscheiden, onderscheiden we hier menselijke creativiteit en computercreativiteit, of zoals de Universiteit van Oxford het noemt: Creative Artificial Intelligence.⁵³ We definiëren computercreativiteit als volgt:

Computercreativiteit is het zielloos scheppende vermogen (van synthetische data) dat originaliteit en effectiviteit vereist.

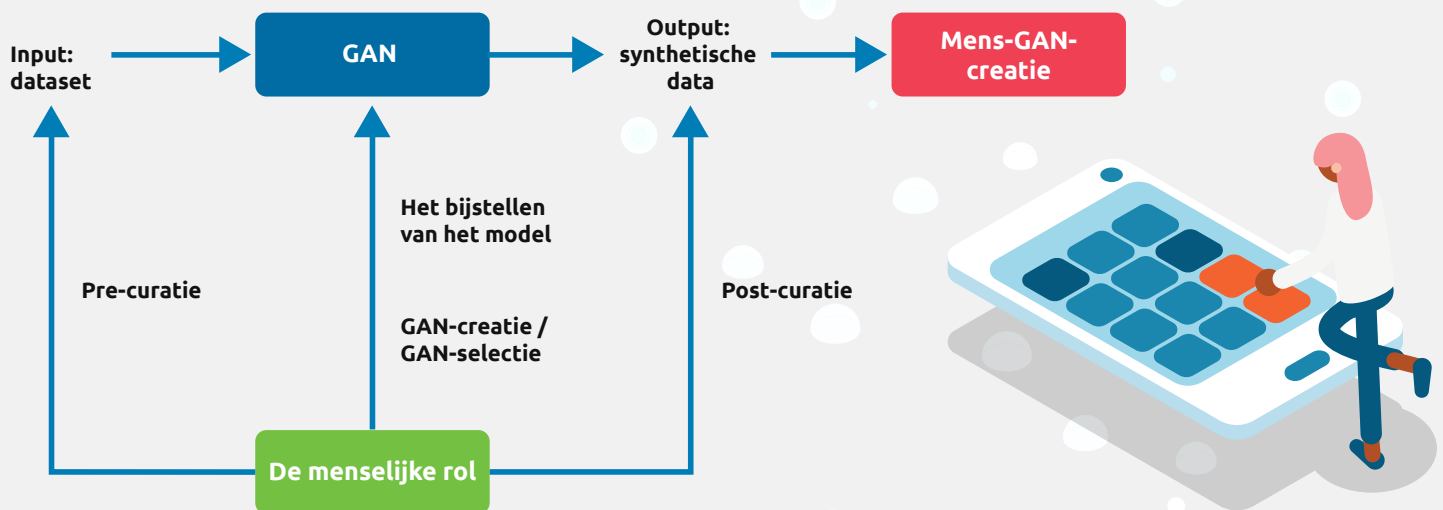


De Lovelace 2.0-test, het minder bekende zusje van de Turing-test, biedt een ander perspectief op computercreativiteit.⁵⁴ Bij deze test zit een mens achter de computer die weet dat hij met AI praat. Hij vraagt het programma eerst om een specifieke creatieve uitingsvorm (bijvoorbeeld een schilderij, verhaal of gedicht) en stelt vervolgens de criteria waarover het moet gaan (bijvoorbeeld 'een man die een kat uit de boom redt'). Als de mens tevreden is met het resultaat, stelt hij een volgende, moeilijkere vraag. Dit gaat zo door totdat de AI faalt of de mens compleet tevreden is. Het doel is om te komen tot een score van (creatieve) intelligentie in plaats van een goed of fout oordeel.

3.2 MENS-GAN nader bekeken

Als we de werking van de creatieve machine nog eens visualiseren, zoals in de afbeelding hieronder, dan valt meteen op welke centrale positie de mens inneemt. De mens bepaalt het doel en geeft richting. Dat begint bij de pre-curatie, waar de mens bepaalt wat de input wordt. Zijn het een miljoen wetenschappelijke papers, alle composities van Bach of Beethoven of alle flora en fauna op deze planeet? Het GAN genereert en komt met een synthetische representatie, een geluid, een model van een mineraal of een foto van een persoon die niet bestaat. Deze uitkomst van het algoritmische GAN-spel tussen de creator en de criticus (discriminator) wordt aldus aan de mens gepresenteerd. In wezen hebben we hier een snelle analist en verbeelders, het GAN, die de mens helpt in zijn schepingsproces. Ergens hebben we altijd de behoefte aan een representatie van een idee, al is het maar om onze eigen stroom van gedachten op gang te houden.

De mens is de tweede discriminator, hij moet bepaalde keuzes maken in de post-curatie. In het voorbeeld van AI-kunst is dat nog het meest ostentatief. Welk schilderij van de duizenden die het GAN oplevert, is het waard om aan de wereld te tonen? Of wat gaan we nog meer doen met die uitkomst, welke draai geeft de mens uiteindelijk aan het computeridee? Wat moet nog worden veranderd, eraan worden toegevoegd of worden afgemaakt? Ook in het geval van de digitale kunstgalerie die we lieten zien, waar het GAN automatisch zijn werk uploadt, is het de mens die de regels van het spel bepaalt.



Het GAN is een geavanceerde levenloze rekenmachine, terwijl de mens intenties, aspiraties en doelen heeft. Het GAN leert de aanwezige correlaties in de door de mens geselecteerde input en creëert nieuwe synthetische varianten. Zo ontstaat er een scala aan simulaties en creaties die passen binnen de gepresenteerde parameters (de input).

3.3 Een nieuwe samenwerking, tot welk niveau?

Tot onze eigen verwondering concluderen we dat achter onze originele vraag of computers creatief zijn, een veel relevantere vraag schuilgaat: wat is de impact van deze generatieve systemen op onze menselijke creativiteit? Want behalve dat creativiteit belangrijk is voor ons welzijn⁵⁵ en los van de definitiekwestie, zien we in tal van voorbeelden nieuwe creaties ontstaan die het licht nooit gezien zouden hebben als de mens er alleen voor stond (zonder analytische computercreativiteit) of als de computer er alleen voor stond (zonder doelen en intenties van de mens). In al deze nieuwe MENS-GAN-samenwerkingen leert het GAN de aanwezige correlaties in de input en ontsluit het met geautomatiseerde snelheid vele mogelijkheden met dezelfde parameters als de input. De mens levert bijvoorbeeld 10.000 gezichten aan, het GAN leert welke correlaties een gezicht tot een gezicht maken en kan vervolgens oneindig veel variaties maken. Waar een mens vele manuren kwijt is om één uniek gezicht te maken, is het GAN na training in staat om in korte tijd vele synthetische gezichten te creëren. Het resultaat is een vorm van geautomatiseerde 'narrow creativity' on demand. Bredere creativiteit on demand ontstaat als er meer datadiversiteit in het spel is, zoals we zagen in het voorbeeld van Insilico. In een vraaggesprek tussen Lex Fridman en GAN-uitvinder Ian Goodfellow (dat na te luisteren is in een podcast⁵⁶) fantaseert Goodfellow even weg over de mogelijkheden. Hij wordt uitgedaagd over de vraag of GAN's de voorbode zijn van Artificial General Intelligence, zeg maar het punt dat computers niet meer onderdoen voor mensen. Goodfellow gaat niet in op de vraag of het ooit mogelijk is of dat we dit punt gaan bereiken. Hij schetst wel wat er nodig is: veel

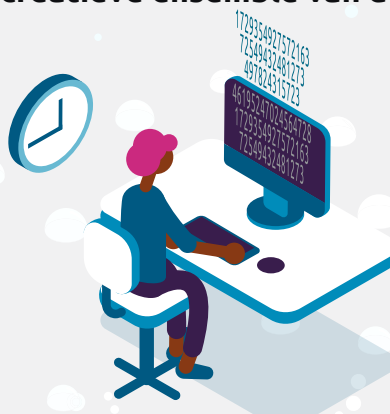
meer datadiversiteit om de wereld 'echt' te begrijpen. Een computer weet niet wat een auto is als je hem 10.000 foto's van auto's laat zien. Voor de mens is de auto een vervoersmiddel, een gevaar op de weg soms, een romantische terugblik in het verleden als we een oude VW kever zien rijden, een pruttelende motor, de reuk van uitlaatgassen, et cetera. Die hele autobeleving maakt voor de mens een auto een auto. Als computers ooit het menselijk niveau gaan halen, wat het ook is, zullen al deze zaken ook geparametriseerd moeten worden.

De vraag is of het nodig is om het menselijke niveau te bereiken. De belangrijke les, dat computers op hun manier creatief zijn en de mens op zijn manier, zou voldoende moeten zijn om te streven naar een optimale samenwerking: een nieuw creatief tijdperk waarin MENS-GAN-cocreatie centraal staat. De computer is beter in data-buffelen en legt verbanden op zijn manier. Als we teruggaan naar de woorden van Thomas Edison, 'Creativiteit is 98 procent transpiratie en 2 procent inspiratie', dan zal veel transpiratie van de machines moeten komen. Hierbij komt dat de output van de computer op zijn beurt ook de mens inspireert. In het Engels zouden we spreken van nieuwe vormen van 'augmented creativity'. Het is het begin van het tijdperk van MENS-GAN-cocreativiteit. Analistenbureau Gartner stelt dat de komst van creatieve computers een heel ander samenspel vereist tussen de AI-enabled professionals en de natuurtalenten op het gebied van creativiteit in de organisatie. Voor de tweede groep is het waarschijnlijk moeilijk te verteren, maar het is onvermijdelijk dat autonome creatieve machines een belangrijke rol gaan spelen. Alle rollen zullen naast elkaar blijven bestaan en met elkaar samenwerken. De CIO moet het pad effenen naar die MENS-GAN-toekomst.

Het supercreatieve ensemble van de toekomst



Een creatieveling van nature



Door AI ondersteunde creatieveling



AI-creatieveling (autonoom)

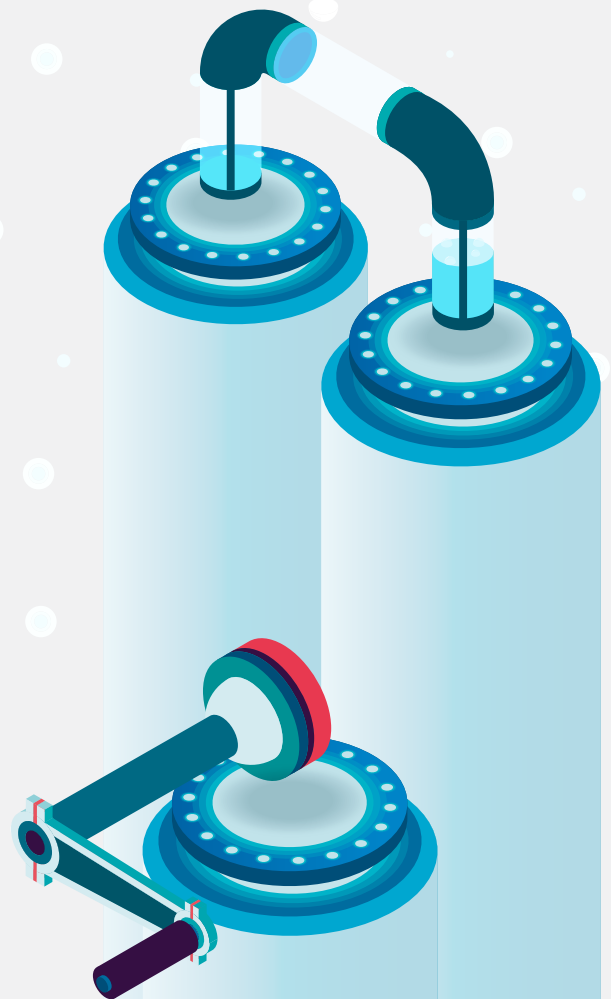
3.4 Tot slot: de menselijke creativiteit ontmaskerd

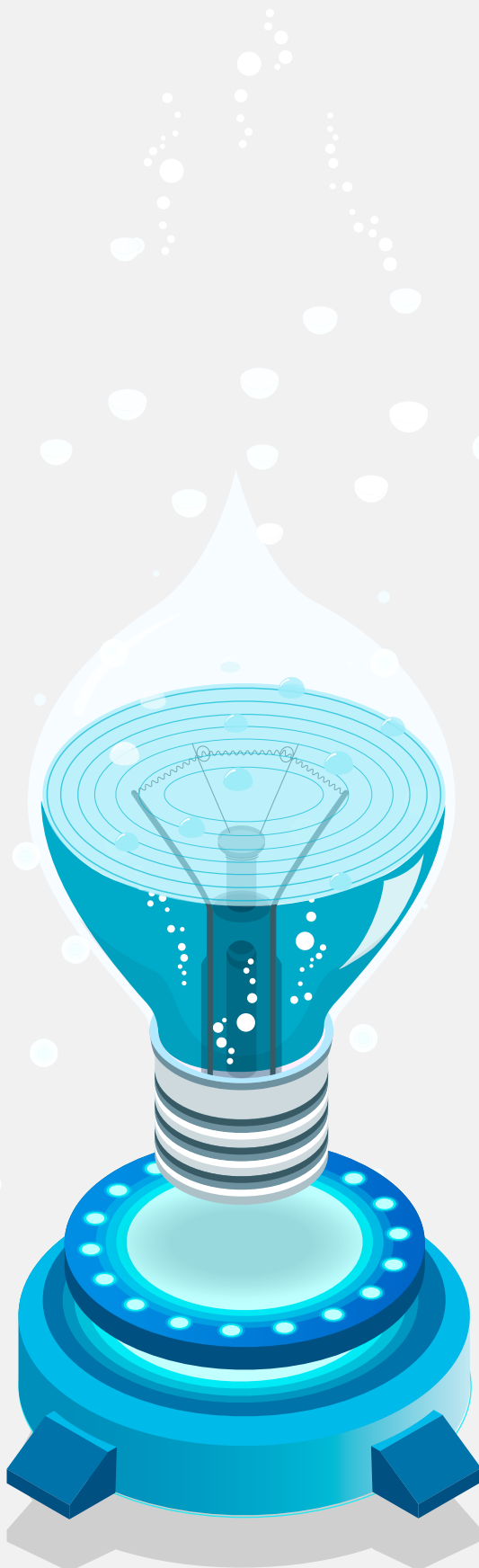
Mensen die zichzelf als creatief beschouwen, kunnen er moeite mee hebben te accepteren dat machines ook creatief kunnen zijn. We leren uit een experiment dat de menselijke creativiteit een 'mindfuck' kan zijn en per definitie een product is van de omgeving waarin wij ons begeven. In een televisieprogramma van mentalist Derren Brown wordt aan twee marketeers gevraagd iets origineels te bedenken. Aan het eind wordt er een envelop opengemaakt met exact dezelfde afbeelding die deze personen net zelf hebben gemaakt. Mentalist Derren Brown deed deze truc met twee 'creatives' van een reclamebureau. Hij gaf ze als opdracht een poster te ontwerpen die reclame maakt voor een winkel voor opgezette dieren. De poster moest een zelfbedachte bedrijfsnaam, slogan en logo bevatten. Hier ziet u de afbeelding van het winkelconcept dat de heren bedachten; ze noemden het 'Animal heaven' en kwamen met de slogan 'The best place for dead animals'. Het logo is een beer die op een harp speelt.

Brown laat vervolgens zijn eigen vooraf gemaakte poster zien. Die is nagenoeg identiek, met als naam 'Creatures Heaven', als slogan 'Where the best dead animals go' en als logo een beer die harp speelt. De creatives zijn stomverbaasd. Hoe kan dit? Maar de taxirit naar het experiment was zo gepland dat ze op subtiele wijze beelden zagen die hen inspireerden om op hun concept te komen (een dierentuin, kinderen met een T-shirt met een beer met een harp, et cetera). Deze twee creatives bleken minder creatief dan ze zelf dachten en waren uit het veld geslagen. De beperkte creativiteit uit dit experiment komt uit de gecreëerde bubbel – de taxirit en alles wat de creatives meemaakten. Maar iedere dag gaan er hordes mensen naar hun werk in dezelfde bubbel van een beperkte omgeving, die proberen creatief te zijn en denken dat ze creatief zijn, totdat er een machine komt die ook ideeën blijkt te kunnen ophoesten.



Mentalist Derren Brown manipuleerde het creatieve proces van twee marketeers zodat hij de output kon voorspellen.





4 Concluderend: de gedroomde toekomst van de CIO

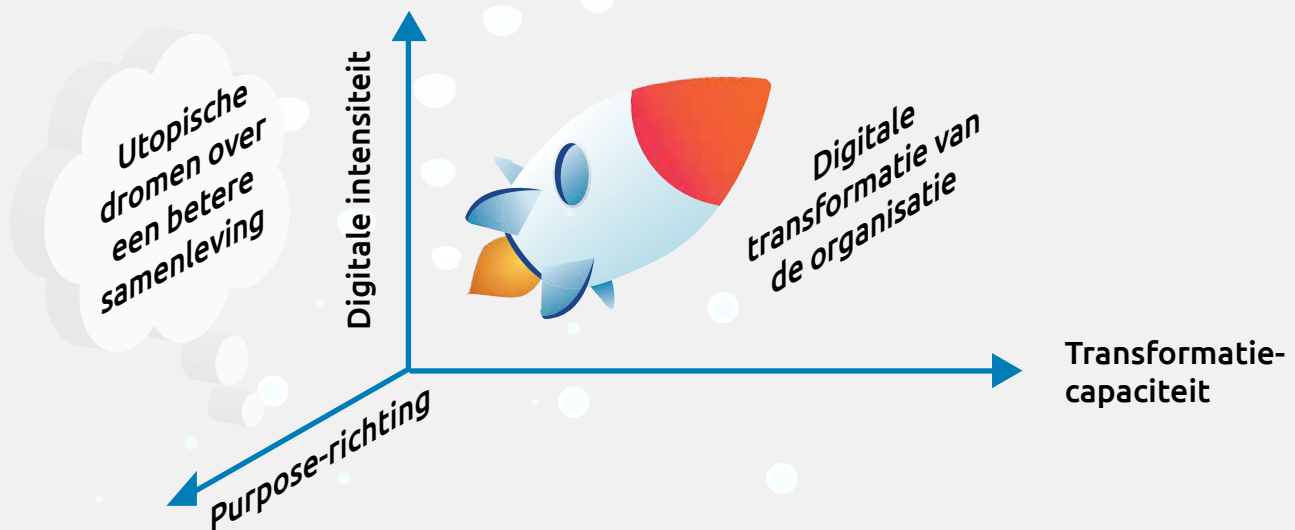
De hele ontwikkeling van GAN's en computercreativiteit, van 2014 tot heden, is te vatten in een aaneenschakeling van dromen. Dromen over de mogelijkheid om een 'droom-computer' te maken zijn dromen geworden over de mogelijkheden van computercreativiteit, die op hun beurt dromen zijn geworden over de vraag wat dit allemaal gaat brengen. Als de studenten van Ian Goodfellow die ene vraag niet hadden gesteld, of computers kunnen dromen, dan hadden we zeer waarschijnlijk nu niet met u deze discussie gevoerd. Na een nacht lang buffelen leverde Goodfellow een eerste bewijs dat computers potentieel creatief zijn. Inmiddels zijn er ruim vijfhonderd verschillende soorten GAN's, met illustere namen als 3D-RecGan, CowboyGan en SiftingGan, die op GitHub te vinden zijn en direct door iedereen kunnen worden ingezet. Dat brengt ons bij de vraag of de CIO, net zoals de wetenschappers, kunstenaars en designers die vooroplopen met deze technologie, droomt over GAN's, over computercreativiteit, wellicht zelfs wel over een oneindig veel creatievere organisatie. Met andere woorden:

Kunnen CIO's eigenlijk nog wel dromen?

Een vaak gehoorde kreet is: 'Er moet al zo veel.' Als er al gedroomd wordt, dan zijn het eerder nachtmerries, want hoe houd je alle ballen tegelijk in de lucht? Volgens adviesbureau McKinsey is het voor de gemiddelde CIO dan ook de slechtst denkbare tijd om het vak te beoefenen, 'There's no worse time than now to be an average CIO' is de openingzin van een rapport waarin McKinsey de CIO-challenge aankaart. Er is op zo veel fronten wat te doen. Het vak is vele malen complexer geworden. De technologische mogelijkheden zijn veel groter, de sociale en culturele veranderingen zijn in een stroomversnelling gekomen, er is een talentvolle jonge generatie met een ander waardenpatroon en andere wensen. De optelsom van dit alles is dat er geen plaats meer is voor een 'gemiddelde' CIO, maar wel voor een nieuwe tech-leider.⁵⁷ Het zou niet misstaan om aan de functie van CIO een naam toe te voegen, de Chief Creativity Officer. Want alles wat onder de profielschets van de nieuwe CIO past, vraagt een enorme dosis organisatorische creativiteit.

De tech-leider volgens McKinsey

Die nieuwe tech-leider is *transformatief*, lezen we in McKinsey's 'The CIO challenge: Modern business needs a new kind of tech leader'. Het is een *businessman of -vrouw* die alles van de klant weet, die een *change agent* is die de



waarom-vraag adresseert, een *talentscout* met als belangrijkste taak 'to reimagine' wat er nodig is om talent binnen te halen en te behouden, en ook een *culturele revolutionair* die alles van community building afweet en silo's afbreekt, en tot slot een *tech translator*, iemand die de organisatie helpt de technologie en de businessimplicaties beter te begrijpen.

Als de CIO niet meer droomt van een creatieve toekomst, wie dan wel?⁵⁸ Je zou zeggen dat er dan ook geen beter onderwerp is om aan te snijden dan de komst van computers die creativiteit stimuleren. Want de uitdagingen waar organisaties vandaag de dag voor staan, vraagt om creativiteit op alle fronten. In *Utopia for Executives*, ons voorgaande rapport, sneden we dit onderwerp al eerder aan.

De conclusie die we in dat rapport trokken is dat de CIO creatief moet zijn op drie verschillende fronten: de transformatie van de organisatie leiden, digitale technologie intensiveren en daar businesswaarde uit halen, en richting geven aan een nieuwe koers – purpose directionality – die aansluit bij de nieuwe waardepatronen in de samenleving.

In dit slothoofdstuk presenteren we zeven dromen en nachtmerries, van groot tot klein, relativerend tot duaal, waar de komst van creatieve machines in onder te brengen is.

1 Een grote droom: de organisatie voorbereiden op haar AlphaGo-moment

Het verlies van wereldkampioen go, Lee Sedol, in zijn spel tegen de computer, is symbool komen te staan voor de creatieve doorbraak van machines. Deze droom over computercreativiteit (die eindigt met uw eigen AlphaGo-moment) heeft een ander verloop dan die van Sedol. Hij stopte drie jaar na zijn verlies met go spelen, omdat hij niet meer kon winnen. Kasparov, die zijn 'go-moment' al eerder maakte in zijn confrontatie met schaakcomputer Deep Blue, koos een andere optie: wat kunnen we leren van de computer en hoe kunnen we het spelletje (schaak) ermee veranderen, vroeg hij zich af. Organisaties zijn geen schaakstukken. Het spel gaat niet om winnen, maar om relevant blijven. Simon Sinek, organisatieadviseur én bekend van de why-what-how-theorie, introduceert in zijn nieuwste boek twee soorten organisaties: eindige en oneindige organisaties. Organisaties die het spel spelen om te winnen, zijn op de lange termijn de verliezers omdat ze geen relevantie hebben. In zijn boek *The Infinite Game* beschrijft hij hoe hoger gelegen doelen de organisatie langetermijnsucces brengen. In die zin is het AlphaGo-moment geen eindpunt, maar slechts het vertrekpunt. Voor de transformatieve CIO die we hier introduceren,

moet het koren op de molen zijn. Het AlphaGo-moment is een uitstekende stip op de horizon. Voor de digitale intensivering van de organisatie is er een nieuw doel gesteld. De organisatorische transformatie – cross-silo's en in agile teams – gedijt goed met GAN-technologie. En wat de 'purpose' is – het doel dat al die creativiteit dient – is bij uitstek een conversatie die u met het jonge talent op de arbeidsmarkt wilt aangaan.

2 Een kleine droom: concreet aan de slag met GAN's

Dat er nu creatieve machines zijn, is nog geen garantie dat de organisatie creatiever wordt. Technologie is een sociaal construct. Het succes of falen hangt af van de zachte factoren. Deze droom kan gaan over de hackatons die u op dit vlak gaat organiseren, hoe u de silo's in uw organisatie doorbreekt met dit onderwerp, hoe u nieuw talent van buiten aantrekt en inspireert, hoe u AI-proeftuinen opzet. Natuurlijk is er wat voor te zeggen om specifieke eigenschappen van synthetische data en GAN's en andere AI-mogelijkheden te combineren. Veel organisaties zijn nu stappen aan het maken met AI en daar kan deze ontwikkeling in worden meegenomen. Dit is een droom die klein begint en (hopelijk) groot eindigt. Als we de voorbeelden in dit rapport nuchter beschouwen, dan is de conclusie dat de mens er een gereedschap bij heeft gekregen, in navolging van het wiel, hamers, beitels, boeken, sterrenkijkers, dijken, elektriciteit, wegen, auto's en medicijnen. We leven in een 'human built world'. In dit geval gaat het wel om een instrument uit de digitale buitencategorie. Digitale tools beschikken over bijzondere capaciteiten waar we nog steeds vol verwondering naar kijken als we bijvoorbeeld facetimen met een familielid in Australië. Het vermogen om dingen die oorspronkelijk niet bij elkaar horen, bij elkaar te brengen – zoals verschillen in tijd en plaats overbruggen via Facebook – is maar één voorbeeld van wat digitale instrumenten kunnen en fysieke niet. Nu ontdekken we een nieuwe capaciteit: het bijzondere vermogen om unieke en bruikbare output te genereren, het machinale vermogen om onze menselijke creativiteit een boost te geven. Concreet aan de slag gaan betekent met beide voeten op de grond blijven, maar ook open durven staan voor de bijzondere eigenschappen van 'digital' en die beter leren begrijpen.

3 Een nachtmerrie: informatie-inflatie en manipulatie

De baas van een Engels energiebedrijf dacht dat hij met de directeur van het Duitse moederbedrijf aan het telefoneren was. Op zijn verzoek schreef hij op stel en sprong een cheque uit van € 220.000 aan een Hongaarse

leverancier. De stem van het moederbedrijf bleek een GAN-creatie, de Hongaarse leverancier was onderdeel van een crimineel netwerk. Het is een opmerkelijke fraudezaak en Forrester Research verwacht dat de schade door dit soort zaken binnen niet al te lange tijd in de honderden miljoenen gaat lopen. De kuur voor deze problemen moeten we volgens Forrester voor een belangrijk deel halen uit deepfake-educatie voor de organisatie. Er is ook een opkomende markt voor het detecteren van deep-fakes. Maar als de phishing-e-mails straks phishingtelefoontjes of -video's worden waarbij we personen die we kennen dingen horen zeggen en doen, wat dan? Het energiebedrijf komt er nog goed van af met het doen van een simpele overschrijving. Wat als de CEO toegang had gegeven tot de informatiesystemen?

De nachtmerrie wordt overigens gedeeld door 77 procent van de CISO's (Chief Information Security Officers), volgens een onderzoek onder 100 van deze personen.⁵⁹ De belangrijkste angst die zij hebben is dat software voor gezichtsherkenning makkelijk te kraken wordt. Op netwerken buiten de organisatie, zoals YouTube, LinkedIn en Facebook, maken medewerkers connecties met fake mensen gemaakt uit synthetisch materiaal, met fake geschiedenissen en valse bedoelingen. We koersen af op een wereld waarin je zintuigen niet meer te vertrouwen zijn, waar een foto van een schade die wordt geclaimd van synthetische makelij kan zijn, waar een telefoontje en de stem die herkend wordt, toch niet te vertrouwen zijn. Voor iedereen die het woordje 'information' op zijn visitekaartje heeft staan, moeten de alarmbellen al lang zijn afgegaan. Identificatie wordt 'check, check en dubbel-check' en informatie-educatie wordt lifelong learning. Maar zijn mensen wel opgewassen tegen de waarheids-erosie en wat gebeurt er als democratieën voortdurend onder vuur komen te liggen van een cordon van levensechte leugens?

4 Een duale droom: creativiteit democratiseert en monopoliseert

Democratisering en het internet zijn ooit bijna synoniemen van elkaar geweest. Inmiddels weten we wel beter. Veel macht is in handen van een paar technologie-reuzen. Beleidsmakers en overheden zijn wakker geschud en zijn begonnen met het bevechten van het machtsverwicht. Ook bij deze technologieontwikkeling spreken we weer over democratisering. Het is ontegenzeggelijk waar dat er een democratiseringseffect van uitgaat. Je kunt nu bijvoorbeeld overal ter wereld gebruikmaken van dezelfde kunstmatige schaakcoach van topniveau. Er zijn tal van GAN-tools die het vak van designer eenvoudiger maken. De GAN's voor tal van toepassingen zijn op GitHub te

verkrijgen. U kunt er zo mee aan de slag, ook dat klinkt democratisch. Maar we weten ook uit de geschiedenis van het internet dat de tools verstrekken en ze slim gebruiken twee verschillende dingen zijn. In deze droom kijkt u zowel naar de mogelijkheden om computercreativiteit breed in te zetten als naar de bijeffecten die te verwachten zijn. Machtsconcentraties van toekomstige GAN-spelers die een dominante plek gaan innemen, zijn te verwachten. Droom over de mogelijkheid om van de democratisering van creativiteit te profiteren en wees op uw hoede voor nieuwe machtsbolwerken.

5 Een ethische droom: creativiteit richting geven

Creativiteit klinkt positief, maar is feitelijk neutraal. Je kunt het voor iets goeds inzetten, maar net zo makkelijk voor kwalijke zaken. Nu organisaties onder een vergrootglas liggen om de vraag wat goed of slecht is (van ecologische footprint en andere milieueffecten tot genderneutraal beleid, inclusiviteit, et cetera), rijst de vraag in welke richting computercreativiteit moet worden ingezet. Deze CIO-droom gaat over wat de goede zaken zijn en welke ethische vragen er moeten worden gesteld. Hoofdeconoom van de Wereldbank Paul Romer heeft een uitgesproken mening over dit vraagstuk. Hij won in 2018 de Nobelprijs voor de Economie voor zijn onderzoek naar innovatie en groei. Zijn les is dat de creatieve krachten de juiste richting moeten worden opgestuurd. Dat levert *creatieve efficiëntie* op. Je kunt ook de foute richting opsturen. Als voorbeeld noemt Romer fracking, het hydraulisch kraken van de bodem met chemicaliën. Iemand heeft creatieve geesten deze doodlopende straat in gestuurd, want fracking is uitzonderlijk slecht voor het milieu en heeft geen toekomst. Diezelfde mensen hadden bijvoorbeeld ook nieuwe fotonvoltaïsche cellen kunnen gaan ontwikkelen. Dit vraagstuk zal in de toekomst alleen maar toenemen. Generatieve AI kan bijvoorbeeld bewust (deepfakes) en onbewust (biases in de data bijvoorbeeld) tot kwalijke gevolgen leiden. De bitcoin, om maar eens een andere technologie te noemen, verbruikt net zo veel energie als een land als Oostenrijk. En onderstaand voorbeeld laat zien dat het loont om na te denken over het doel waarvoor AI wordt ingezet.



Drie kerncentrales een uur laten draaien

Toen onderzoekers van OpenAI eind 2019 een algoritme demonstreerden dat in staat was via een robot-hand een Rubiks-kubus op te lossen, duurde het niet lang voordat er werd uitgerekend hoeveel energie het gekost heeft om dit algoritme te trainen. Er waren meer dan 1000 desktopcomputers voor nodig, plus een tiental machines die gespecialiseerde grafische chips runden die meerdere maanden intensieve berekeningen maakten. Evan Sparks, CEO van Determined AI, een start-up die software maakt om AI-projecten te beheren, vertelt aan *Wired Magazine* dat het algoritme waarschijnlijk zo'n 2,8 gigawattuur elektriciteit verbruikt heeft.⁶⁰ Dat is gelijk aan de output van drie kerncentrales gedurende een uur.⁶¹ Er wordt voorspeld dat als we niet werken aan efficiëntere technologie, rond 2030 51 procent van de globale elektriciteitsbehoefte van communicatietechnologie komt.⁶²

6 Een tweede nachtmerrie: creatieve machines worden de mens de baas

Dit is een nachtmerrie waar u heel snel mensen over uit de droom moet helpen. Computers gaan het niet van ons overnemen, al was het alleen maar omdat ze er geen zin in hebben en omdat ze überhaupt geen 'zinbesef' kennen. De droom of nachtmerrie waar dit onderwerp in terecht kan komen, is improductief. De valkuil waar we op afstevenen, is door Sigmund Freud al glashelder beschreven in *Das Unheimliche*⁶³ uit 1919: mensen dichten aan machines menselijke eigenschappen toe die er niet zijn. In Freuds tijd waren dat bewegende poppen die ons al op deze dwaalgedachten brachten. Mensen zijn psychisch niet weerbaar tegen deze zogenaamde antropomorfe gedachten. Creatieve machines worden steeds beter in het veinzen van menselijkheid, zoals we bij de tekstgenerator Talktothetransformer zagen, of zoals de synthetische mensbeelden van Thisisnotaperson al toonden. De mentale stap van iets menselijks denken te zien naar een vermoeden dat dingen ook een bewustzijn hebben, is snel gemaakt. Het uit de droom helpen is dus iets wat tot uw taak behoort, want de fantasiebeelden komen automatisch op. De valkuil heet: 'Wat als ...?' Ja, maar wat als computers nu bewustzijn krijgen? 'Wat als' is een Hollywoodconstructie, geen constructie van de werkelijkheid.⁶⁴ De creatieve vermogens van de machines blijven ongetwijfeld toenemen en zullen ons keer op keer verbaasd doen staan. Laten we hopen dat de mens slim genoeg is om dit nieuwe creatieve potentieel in de goede richting te duwen en de concrete problemen – groot en klein – waar we vandaag de dag mee zitten, op te lossen. Wie bang is dat de uitdagingen opraken als de

computer steeds met creatieve oplossingen komt, kijkt gewoonweg niet goed om zich heen. De menselijk fantasie is vrijwel oneindig, de creativiteit kan binnen de grenzen van de natuurkundige wetmatigheden oneindig ver komen, maar uitdagingen zullen zich blijven aandienen. Zolang de mens nog vragen heeft, moet de computer met het antwoord komen. Geen mens of machine hoeft zich wat dat betreft een moment te vervelen.

7 Een toekomstdroom: de (on)eindig creatieve toekomst

De bovengemiddelde CIO is *change agent*, *transformer* en *culturele revolutionair* volgens de McKinsey-profielbeschrijving. U steekt uw nek uit als u zich ook nog profileert als 'creativity booster'. Daarom speculeren we tot slot een beetje met u mee over de mogelijke beperkingen die op creatief terrein voor ons liggen. In hun research-paper *Are ideas getting harder to find?* (2019) stellen de economen Nicholas Bloom, Charles I. Jones, John Van Reenen en Michael Web van Stanford University en MIT dat ideeën steeds moeilijker te vinden zijn. Uit hun analyse van verschillende industrieën trekken ze de conclusie dat het aantal mensen dat wereldwijd onderzoek doet zinderogen toeneemt, maar dat het minder ideeën dan voorheen oplevert en dat dus de groei van de economie afremt. De Stanford/MIT-onderzoekers geven als verklaring dat de makkelijke ideeën al zijn bedacht en dat we nu alleen nog zijn opgezaagd met de moeilijke issues. 'Het laaghangende fruit' in termen van uitvindingen is inmiddels geplukt. *New Scientist* berichtte in 2005 al dat we afstevenen op een 'dark age of innovation'. Het dieptepunt zou rond 2024 liggen, dan zouden de innovaties opgedroogd raken. Wetenschapsjournalist John Horgan is een inspiratiebron voor dit soort gedachten. In zijn boek *The end of science*⁶⁵ uit 1996 beschrijft hij al dat de rek eruit is, de wetenschap heeft alleen nog maar met echt grote zaken als kwantumfysica en de bigbangtheorie te maken, de rest hebben we opgelost. Maar de echt grote zaken zijn een maatje te groot voor de mens. Een filosofische school, de 'new mysterians' geheten, onderschrijft deze gedachte. Bepaalde zaken zullen voor de mens altijd een mysterie blijven. Over de prikkelende stelling dat we geen meter meer opschieten, schreef de anarchistische filosoof David Graeber een essay met als titel: 'Of Flying Cars and the Declining Rate of Profit'⁶⁶ (2012). Ook hij vraagt zich af waarom de vooruitgang is gestopt: 'Waar zijn de vliegende auto's? Waar zijn de krachtvelden, trekstralen, teleportatiecellen, antizwaartekrachtssleeën, tricorders, onsterfelijkheidspillen, kolonies op Mars, en alle andere technologische wonderen waarvan elk kind – dat is opgegroeid in het midden tot aan het einde van de twintigste eeuw – had verwacht dat ze nu toch wel zouden bestaan?

Zelfs de uitvindingen die op het punt stonden door te breken – zoals klonen en cryonisme – hebben hun beloften niet waargemaakt. Wat is er met hen gebeurd?’

In onze dromen worden we geteleporteerd van de ene planeet naar de andere zonder dat we ons druk hoeven te maken over de wetmatigheden van de relativiteitstheorie van Albert Einstein. Onze fantasie en ons voorstellingsvermogen zijn onbegrensd, maar of we dat wat we ons voorstellen, ook in daden kunnen omzetten, hangt af van ons creatieve vermogen en de mogelijke begrenzings daarvan. Met de komst van een nieuw creatief potentieel – de GAN-computer – kunnen we in ieder geval constateren dat die grenzen weer verder zijn opgerekt.



Futurologen beloofden in 1965 al dat we binnen tien jaar in vliegende schotels rond zouden vliegen. Ze zijn er nog steeds niet.

27. Chaillou, S. (2019, 24 februari). AI & architecture: An experimental perspective. Towards Data Science. <https://towardsdatascience.com/ai-architecture-f9d78c6958e0>
28. Chaillou, S. (2019, 17 juli). ArchiGAN: a generative stack for apartment building design. NVIDIA developer blog. <https://devblogs.nvidia.com/archigan-generative-stack-apartment-building-design/>
29. Davis, M. (z.j.). NASA JPL explores generative design for space exploration. Autodesk. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/NASA-JPL-Explores-Generative-Design-Space-Exploration-Mark-Davis-2019>
30. Volkswagen (2019, 11 juli). A new era for Volkswagen innovation in America begins with the Type 20 Concept. <http://newsroom.vw.com/vehicles/a-new-era-for-volkswagen-innovation-in-america-begins-with-the-type-20-concept/>
31. Autodesk & General Motors (z.j.). Driving a lighter, more efficient future of automotive part design. Autodesk. <https://www.autodesk.com/customer-stories/general-motors-generative-design>
32. Luo, Z., Cheng, S.Y., & Zheng, Q.Y. (2019, 29 november). GAN-based augmentation for improving CNN performance of classification of defective photovoltaic module cells in electroluminescence image. IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/354/1/012106/pdf>
33. Fujitsu (2019, 11 december). Fujitsu wins first prize for predictive maintenance in Airbus AI challenge. <https://www.fujitsu.com/si/about/resources/news/press-releases/2019/emeai-20191211-fujitsu-wins-first-prize-for-predictive.html>
34. Zheng, S., Farahat, A., & Gupta, C. (2019, september). Generative Adversarial Networks for failure prediction. Paper presented at *The European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases*. <https://ecmlpkdd2019.org/downloads/paper/23.pdf>
35. Li, D., Chen, D., Goh, J., & Ng, S-K. (2019, 15 januari). Anomaly detection with Generative Adversarial Networks for multivariate time series. Arxiv. <https://arxiv.org/pdf/1809.04758.pdf>
36. Powell, K. (2017, 03 december). NVIDIA Researchers showcase major advances in deep learning at NIPS. NVIDIA. <https://blogs.nvidia.com/blog/2017/12/03/nvidia-research-nips/>
37. Shiryayev, D. (2020, 3 februari). [4k, 60 fps] Arrival of a Train at La Ciotat (The Lumière Brothers, 1896). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=3RYNThid23g>
38. Shiryayev, D. (2020, 4 februari). [DeOldified] Arrival of a Train at La Ciotat (The Lumière Brothers, 1896). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=EqbOhqXHL7E>
39. Zakharov, E., Shysheya, A., Burkov, E., & Lempitsky, V. (2019, 25 september). Few-Shot adversarial learning of realistic neural talking head models. Arxiv. <https://arxiv.org/abs/1905.08233>
40. Lee, H.Y., Yang, X., Liu, M.Y., Wang, T.C., Lu, Y.D., Yang, M.H., & Kautz, J. (2019). Dancing to Music. Arxiv. <https://arxiv.org/pdf/1911.02001.pdf>
41. Li, Y., Gan, Z., Shen, Y., Liu, J., Cheng, Y., Wu, Y., Carlin, L., Carlson, D., & Gao, J., (2019, 18 april). 3StoryGAN: A sequential conditional GAN for story visualization. Arxiv. <https://arxiv.org/abs/1812.02784>
42. Gupta, T., Schwenk, D., Farhadi, A., Hoiem, D., & Kembhavi, A. (2018, 28 april). Imagine this! Scripts to compositions to videos. Arxiv. <https://arxiv.org/abs/1804.03608>
43. Jun-Yan, Z., Park, T., Isola, P., & Alexei, A.F. (2017). Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent Adversarial Networks. Arxiv. <https://arxiv.org/pdf/1703.10593.pdf>
44. Rothco (2018, 25 april). JFK Unsilenced Speech Highlights. YouTube. https://www.youtube.com/watch?time_continue=5&v=fOiDO8BWzfk&feature=emb_logo
45. Chesney, R., & Citron, D.K. (2018, 21 juli). Deep Fakes: A Looming Challenge for Privacy, Democracy, and National Security. SSRN. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3213954
46. Shead, S. (2020, 7 januari). Facebook to ban 'deepfakes'. BBC. <https://www.bbc.com/news/technology-51018758>
47. OpenAI (z.j.). About OpenAI. <https://openai.com/about/>
48. Howard, J. [DrJHoward]. (2019, 26 oktober). I've created a monster. I've re-trained @OpenAI's GPT2 transformer neural network on the Pubmed/MEDLINE database, so that if I give it an article's title, it spits out a abstract for me. I didn't teach it how to structure an abstract, how long it is, or any of the lingo. [Tweet]. <https://twitter.com/drjhoward/status/1188130869183156231>
49. Boden, M., & Edmonds, E.A. (2019). *From Fingers to Digits*. MIT Press.
50. Zie <http://obvious-art.com/>
51. Elgammal, A., Bingchen, L., Elhoseiny, M. & Mazzone, M. (2017, 21 juni). CAN: Creative Adversarial Networks generating "art" by learning about styles and deviating from style norms. Arxiv. <https://arxiv.org/pdf/1706.07068.pdf>
52. In het veelvuldig geciteerde paper *The Standard Definition of Creativity* onderzoeken cognitief psychologen Mark Runco en Garrett J. Jaeger de oorsprong van verschillende definities van creativiteit. Zij concluderen dat sinds 1953 eigenlijk een simpele tweedelige definitie overheerst, de standaarddefinitie van creativiteit: originaliteit en effectiviteit. Runco, M., & Garrett, J. (2012, 10 februari). The standard definition of creativity. In *Creativity Research Journal*. https://www.researchgate.net/publication/254301596_The_Standard_Definition_of_Creativity

53. Oxford Internet Institute. (z.j.). Creative Algorithmic Intelligence: Capabilities And Complementarity. University of Oxford. <https://www.oii.ox.ac.uk/research/projects/creative-algorithmic-intelligence/?overview>
54. Bringsjord, S., Bello, P., & Ferrucci, B. (2001, februari). Creativity, the Turing test, and the (better) Lovelace test. *Minds and Machines* 11, 3-27. <https://doi.org/10.1023/A:1011206622741>
55. Tan, O.S. (2015, 24 april). Flourishing creativity: education in an age of wonder. *Asia Pacific Education Review*, 16, 161-166. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12564-015-9377-6>
56. Goodfellow, I. & Fridman, L. (2019, 8 april). Generative Adversarial Networks (GANs) | Artificial intelligence (ai) podcast. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Z6rxFNMGdn0>
57. Dhasarathy, A., Gill, I., & Khan, N. (2020, januari). The CIO challenge: Modern business needs a new kind of tech leader. McKinsey Digital. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-cio-challenge-modern-business-needs-a-new-kind-of-tech-leader>
58. Het is ook de conclusie van ons recent gepubliceerde rapport *Utopia for Executives*. <https://labs.sogeti.com/research-topics/digital-happiness/#utopia-for-executives-4-of-4>
59. Scroxton, A. (2020). Fintechs fear deepfake fraud. *ComputerWeekly*. <https://www.computerweekly.com/news/252477448/Fintechs-fear-deepfake-fraud>
60. Knight, W. (2020, 21 januari). AI can do great things—if it doesn't burn the planet. *Wired*. <https://www.wired.com/story/ai-great-things-burn-planet/>
61. Een woordvoerder van OpenAI twijfelde aan de berekening, maar OpenAI weigerde verdere details van het project bekend te maken of een schatting te geven van de verbruikte elektriciteit. In een klap wordt een 'geinig project' een 'energieslurpende misplaatste grap'.
62. Andrae, A., Edler, T. (2015). On global electricity usage of communication technology: Trends to 2030. *Challenges*, 6, 117-157. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>
63. Freud, S. (1919). *Das Unheimliche*. Gutenberg. <http://www.gutenberg.org/ebooks/34222>
64. Lees ook ons rapport *De Frankensteinfactor: de anatomie van de angst voor AI*. <https://labs.sogeti.com/research-topics/machine-intelligence/#frankenstein-factor-anatomy-fear-ai>
65. Wikipedia (z.j.). John Horgan (journalist). Geraadpleegd in oktober 2019 op [https://en.wikipedia.org/wiki/John_Horgan_\(journalist\)](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Horgan_(journalist))
66. Graeber, D., (2012, maart). 'Of Flying Cars and the Declining Rate of Profit'. *The Baffler*. <https://thebaffler.com/salvos/of-flying-cars-and-the-declining-rate-of-profit>

Beeldverantwoording

- p. 3 (links): Miller, A.I. (2019). *The artist in the machine: The world of AI-powered creativity* [Boekomslag]. MITPress. <https://mitpress.mit.edu/books/artist-machine>
- p. 3 (midden): Runway ML. (z.j.). [Screenshot van website]. <https://runwayml.com>
- p. 3 (rechts): Sautoy, M. (2019, 18 februari). *The Creativity Code: How AI is learning to write, paint and think*. 4th Estate.
- p. 4 (rechtsboven): The Ancaro Project. (2019, 16 januari). *They know you the most* [Photograph]. Unsplash. <https://unsplash.com/photos/6VQlKJp2vpo>
- p. 4 (linksonder): Insilico Medicine (z.j.). <https://insilico.com>
- p. 4 (rechtsonder): Zhavoronkov, A., Ivanenkov, Y.A., Aliper, A. et al. (2019). Deep learning enables rapid identification of potent DDR1 kinase inhibitors. *Nature Biotechnology*, 37, 1038-1040. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0224-x>
- p. 5: Zhavoronkov, A., Ivanenkov, Y.A., Aliper, A. et al. (2019). Deep learning enables rapid identification of potent DDR1 kinase inhibitors. *Nature Biotechnology*, 37, 1038-1040. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0224-x>
- p. 6: Insilico Medicine (z.j.). <https://insilico.com>
- p. 7: Sogeti
- p. 10 (boven): Smith, D. & Burke, B. (2019, augustus). Hype Cycle for Emerging Technologies, 2019. Gartner. <https://www.gartner.com/en/documents/3956015/hype-cycle-for-emerging-technologies-2019#:~:text=The%202019%20Hype%20Cycle%20highlights,world%20and%20mimic%20human%20creativity>
- p. 13: Tshitoyan, V., Dagdelen, J., Weston, L., Dunn, A., Rong, Z., Kononova, O., ... Jain, A. (2019). Unsupervised word embeddings capture latent knowledge from materials science literature. *Nature*, 571, 95-98. doi:10.1038/s41586-019-1335-8
- p. 14: Cognilytica Research (2019, 31 januari). Data engineering, preparation, and labeling for AI 2019. <https://www.cognilytica.com/2019/03/06/report-data-engineering-preparation-and-labeling-for-ai-2019/>

- p. 15 & 16: VanRullen, R. & Reddy, L. (2019, 21 mei). Reconstructing faces from fMRI patterns using deep generative neural networks. *Communications Biology*, 2, 193. doi:10.1038/s42003-019-0438-y
- p. 17: Joshi, C. (2019, 21 februari). Generative adversarial networks (GANs) for synthetic dataset generation with binary classes. Data Science Campus. <https://datasciencecampus.ons.gov.uk/projects/generative-adversarial-networks-gans-for-synthetic-dataset-generation-with-binary-classes/>
- p. 18: Price, A. (2018, 5 november). The Next Leap: How A.I. will change the 3D industry - Andrew Price [Screenshot van video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=FlgLxSLsYWQ>
- p. 19 (boven): Thacker, J. (2019, 8 november). Sneak peek: Adobe's project sweet talk and go figure. CG Channel. <http://www.cgchannel.com/2019/11/sneak-peek-adobes-project-sweet-talk-and-go-figure/>
- p. 19 (onder): Yildirim, G., Seward, C., Bergmann, U. (2018, 20 juni). Disentangling Multiple Conditional Inputs in GANs. Arxiv. <https://arxiv.org/abs/1806.07819>
- p. 20: Chaillou, S. (2019, 24 februari). AI & architecture: An experimental perspective. Towards Data Science. <https://towardsdatascience.com/ai-architecture-f9d78c6958e0>
- p. 21 (boven): Davis, M. (z.j.). NASA JPL explores generative design for space exploration. Autodesk. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/NASA-JPL-Explores-Generative-Design-Space-Exploration-Mark-Davis-2019>
- p. 21 (midden): Volkswagen (2019, 11 juli). A new era for Volkswagen innovation in America begins with the Type 20 Concept. <http://newsroom.vw.com/vehicles/a-new-era-for-volkswagen-innovation-in-america-begins-with-the-type-20-concept/>
- p. 21 (onder): Autodesk & General Motors (z.j.). Driving a lighter, more efficient future of automotive part design. Autodesk. <https://www.autodesk.com/customer-stories/general-motors-generative-design>
- p. 22 (links): Luo, Z., Cheng, S.Y., & Zheng, Q.Y. (2019, 29 november). GAN-based augmentation for improving CNN performance of classification of defective photovoltaic module cells in electroluminescence image. IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/354/1/012106/pdf>
- p. 22 (rechts): Powell, K. (2017, 3 december). NVIDIA Researchers showcase major advances in deep learning at NIPS. NVIDIA. <https://blogs.nvidia.com/blog/2017/12/03/nvidia-research-nips/>
- p. 23: Event Horizon Telescope (2019, 10 april). <https://eventhorizontelescope.org>
- p. 24 (boven): NVIDIA (2018, 23 april). Research at NVIDIA: AI Reconstructs Photos with Realistic Results. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=gg0F5JjKmhA>
- p. 24 (onder): Shiryaev, D. (2020, 3 februari). [4k, 60 fps] Arrival of a Train at La Ciotat (The Lumière Brothers, 1896). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=3RYNThid23g>
- p. 25: Li, Y., Gan, Z., Shen, Y., Liu, J., Cheng, Y., Wu, Y., Carin, L., Carlson, D., & Gao, J., (2019, 18 april). 3StoryGAN: A sequential conditional GAN for story visualization. Arxiv. <https://arxiv.org/abs/1812.02784>
- p. 26 (boven): Gupta, T., Schwenk, D., Farhadi, A., Hoiem, D., Kembhavi, A. (2018, 10 april). Imagine this! Scripts to compositions to videos. Arxiv. <https://arxiv.org/abs/1804.03608>
- p. 26 (onder): Jun-Yan, Z., Park, T., Isola, P., & Alexei, A.F. (2017). Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent Adversarial Networks. Arxiv. <https://arxiv.org/pdf/1703.10593.pdf>
- p. 27 (boven): Future of Life Insitute (2018, februari). The malicious use of artificial intelligence: forecasting, prevention, and mitigation. https://www.eff.org/files/2018/02/20/malicious_ai_report_final.pdf
- p. 27 (onder): Burgung, H. (2019, 21 november). In event of moon disaster - Nixon deepfake clips. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=yaq4sWFvnAY>
- p. 29 (2020, januari) 9gans: An art gallery created by artificial intelligence. <https://9gans.com/>
- p. 30: Obvious (collective) (2018). Edmond de Belamy. <http://obvious-art.com>
- p. 31: AICAN (z.j.). <https://www.aican.io>
- p. 32: iStock/Devrimb
- p. 37: Brown, D. (2012, 12 september). Derren Brown advertising agency task. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=YQXe1CokWqQ>
- p. 42: Vaughan, J. (2009, 24 september). 1954 Flying saucers for everybody. Flickr. https://www.flickr.com/photos/x-ray_delta_one/3949834600

Over VINT

Het Verkenningeninstituut Nieuwe Technologie van Sogeti, VINT, is onderdeel van SogetiLabs. VINT geeft invulling aan de koppeling tussen bedrijfsprocessen en nieuwe IT. In elke rapportage over een verkenning die het instituut heeft uitgevoerd, zoekt VINT het juiste midden tussen feitelijke beschrijving en beoogde toepassing. Op die manier inspireert VINT organisaties om nieuwe technologie in beschouwing te nemen of zelfs te gaan gebruiken.

De onderzoeken van VINT worden uitgevoerd onder auspiciën van de Commissie van Aanbeveling bestaande uit: F.M.R. van der Horst (voorzitter), Chief Executive Officer Retail Banking ABN AMRO Bank N.V. • A. Arooni, Chief Information Officer NN Group • K. van Baardwijk, Chief Operating Officer and member of the Executive Committee of Robeco • Jørgen Behrens, Head of Applications and Services at HERE Technologies • M. Boreel, Chief Technology Officer Sogeti Group • Paul Dirix, Chief Executive Officer AEB Amsterdam • D. Kamst, Chief Executive Officer Klooker • M. Krom, Chief Information Officer PostNL • T. van der Linden, Group Information Officer Achmea • Prof. dr. ir. R. Maes, Professor of Information & Communication Management Academy for I & M • P. Morley, Lecturer Computer Science University of Applied Science Leiden • J.W.H. Ramaekers, Head of Sogeti Nederland • E. Schuchmann, Chief Information Officer Amsterdam UMC • W.H.G. Sijstermans, Member of the Board, Chief Information Officer Nederlandse Zorgautoriteit (NZa) • K. Smaling, Chief Technology Officer Continental Europe Aegon • J.P.E. van Waayenburg, Head of Capgemini Nederland • M. der Weduwen, Chief Information Officer & Vice President Information Services, Holland Casino.

Over SogetiLabs labs.sogeti.com

SogetiLabs is een netwerk van meer dan 120 technologieleiders binnen Sogeti wereldwijd. SogetiLabs biedt een breed scala aan deskundigheid op het gebied van digitale technologie: van embedded software, cyber security, deep learning, simulaties en cloud tot business information management, mobiele apps, business analytics, IoT, testen en blockchain-oplossingen. Het doel is altijd om technologie, systemen en applicaties met een zo groot mogelijk resultaat in actuele bedrijfssituaties in te zetten. Dit doet SogetiLabs onder andere via de THINKUBATOR waarin business acceleration as a service aangeboden wordt via toegepaste innovatie. Samen met VINT zorgt SogetiLabs voor inzicht, onderzoek en inspiratie met artikelen, presentaties en video's. Deze zijn altijd te downloaden op de uitgebreide website, online portals en social media van SogetiLabs.

Over Sogeti Nederland B.V.

Sogeti maakt deel uit van de Capgemini Group en is wereldwijd actief op meer dan 100 locaties. In nauwe samenwerking met klanten en partners maakt Sogeti optimaal gebruik van de mogelijkheden van technologie. Sogeti combineert flexibiliteit en implementatiesnelheid om innovatieve toekomstgerichte oplossingen op het gebied van Digital Assurance en Testen, Cloud en Cybersecurity toe te passen, allemaal gevoed door AI en Automatisering. Met zijn praktische 'value in the making'-aanpak en passie voor technologie helpt Sogeti organisaties hun digitale reizen snel te implementeren.

De Capgemini Group is toonaangevend op het gebied van innovatie om de mogelijkheden van klanten in de veranderende wereld van cloud, digital en platforms volledig te benutten. Voortbouwend op zijn sterke 50-jarige erfgoed en diepgaande branchespecifieke expertise, stelt Capgemini organisaties in staat om hun zakelijke ambities te verwezenlijken door middel van een scala aan diensten van strategie tot operatie. Capgemini wordt gedreven door de overtuiging dat de waarde van technologie door mensen wordt bepaald. Het is een multicultureel bedrijf met meer dan 200.000 teamleden in meer dan 40 landen. De Group rapporteerde in 2018 een wereldwijde omzet van EUR 13,2 miljard.

Bezoek ons op www.sogeti.nl