

De code van creativiteit

Hoe AI leert schrijven, schilderen en denken

Marcus du Sautoy



UITGEVERIJ NIEUWEZIJD

Oorspronkelijke titel: *The Creativity Code. How AI is learning to write, paint and think*.
Londen, 4th Estate, een imprint van HarperCollins Publishers, 2019.

Uitgegeven door: Uitgeverij Nieuwezijds, Amsterdam

Vertaling: DEK Translations, Leiden

Zetwerk: Holland Graphics, Amsterdam

Illustraties: nagetekend door Martin Brown

Omslag: Buro Blikgoed, Haarlem

Illustratie omslag: bewerking van een detail van *De schepping van Adam*, door
Michelangelo

© Marcus du Sautoy, 2019

© Nederlandse vertaling: Uitgeverij Nieuwezijds, 2020

Fragment Gustave Flaubert, pag. 256: vertaling door Hans van Pinxteren, uit: *Madame Bovary*. L.J. Veen Klassiek, 2009.

Fragment Roald Dahl, pag. 263-264: vertaling door Hans Edinga, uit: *De verhalen-
machine*. Meulenhoff, 1998.

Fragment William Shakespeare, pag. 288: vertaling door Gerrit Komrij, uit: *Wat
u wilt*, Uitgeverij Bert Bakker, 1990.

ISBN 978 90 5712 510 2

NUR 910

www.nieuwezijds.nl



Bij de productie van dit boek is gebruikgemaakt van papier dat het keurmerk van de Forest Stewardship Council (FSC) mag dragen. Bij dit papier is het zeker dat de productie niet tot bosvernietiging heeft geleid.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband, elektronisch of op welke andere wijze ook en evenmin in een retrieval system worden opgeslagen zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel dit boek met veel zorg is samengesteld, aanvaarden schrijver(s) noch uitgever enige aansprakelijkheid voor schade ontstaan door eventuele fouten en/of onvolkomenheden in dit boek.

*Voor Shani,
voor al haar liefde en steun,
creativiteit en intelligentie*

Inhoud

1	De Lovelace-test	9
2	Creativiteit creëren	17
3	Ready, steady, go!	27
4	Algoritmes: het geheim van het moderne leven	51
5	Van top-down naar bottom-up	71
6	Algoritmische evolutie	85
7	Schilderen op nummer	101
8	Leren van de meesters	123
9	De kunst van de wiskunde	147
10	De telescoop van de wiskundige	165
11	Muziek: verklanking van de wiskunde	181
12	De formule voor het schrijven van liedjes	205
13	Deepmathematics	223
14	Taalspel	243
15	AI gaat je een verhaal vertellen	263
16	Waarom we creatief zijn: een ontmoeting van geesten	283
	Illustraties	291
	Aanbevolen literatuur	293
	Dankwoord	301
	Index	303

HOOFDSTUK 1

De Lovelace-test

Kunstwerken maken de regels; regels maken geen kunstwerken.

CLAUDE DEBUSSY

De machine zag er prachtig uit. Torens van tandwieljjes met getallen op de tandjes, bevestigd aan asjes die werden bewogen door een slinger waaraan je kon draaien. De 17-jarige Ada Byron stond geboeid aan de slinger van de machine van Charles Babbage te draaien om te zien hoe hij getallen kraakte, kwadraten en derde machten berekende en zelfs vierkantswortels trok. Byron had altijd een fascinatie gehad voor machines, die verder was aangewakkerd door de privéleraren die haar moeder met plezier voor haar had ingehuurd.

Toen Ada een paar jaar later, inmiddels getrouwd met de graaf van Lovelace, Babbages plannen voor een ‘analytische machine’ bestudeerde, drong het tot haar door dat die meer was dan zomaar een getallenkraker. Ze begon op te schrijven wat je er allemaal mee kon doen. ‘De analytische machine is niet hetzelfde als een gewone “rekenmachine”. Ze is echt een klasse apart en roept vragen op die een stuk interessanter zijn.’

De aantekeningen van Ada Lovelace worden nu erkend als de eerste aanzet tot het schrijven van code. Dit kleine zaadje van een idee is uitgegroeid tot de revolutie van kunstmatige intelligentie (*artificial intelligence*, of AI) die momenteel de wereld overspoelt, gedreven door het werk van pioniers als Alan Turing, Marvin Minsky en Donald Michie. Maar Lovelace bleef voorzichtig met haar voorspellingen over wat zo’n machine zou kunnen bereiken: ‘We moeten ons hoeden voor overdreven ideeën die zouden kunnen ontstaan over de kracht van de analytische machine. De analytische machine heeft niet de pretentie dat ze iets kan laten ontstaan. Ze kan de opdrachten uitvoeren die wij haar geven.’ Uiteindelijk, meende

ze, bleef de machine beperkt in haar mogelijkheden: je kon er niet meer uit halen dan je erin stopte.

Deze gedachte is jarenlang de mantra van de computerwetenschap geweest en beschermt ons tegen de angst dat we iets in beweging zetten wat we niet kunnen beheersen. Sommigen suggereerden dat als we een machine willen voorzien van kunstmatige intelligentie, we eerst moeten begrijpen wat menselijke intelligentie precies inhoudt.

Wat er in onze hoofden precies gebeurt, blijft een mysterie, maar de laatste jaren is er wel een nieuwe manier van denken over code in opkomst: een verschuiving van een top-downmentaliteit ten opzichte van programmeren naar een bottom-upbenadering, waarbij we de computer zijn eigen pad laten kiezen. Het blijkt dat je het vraagstuk van intelligentie niet eerst hoeft op te lossen. Je kunt algoritmes door het digitale landschap laten zwerven en laten leren zoals een kind dat doet. De huidige codes die door *machine learning* worden gecreëerd geven blijk van verrassend inzicht: ze kunnen op medische beelden dingen zien die vroeger onopgemerkt bleven en drijven gewiekst handel op de aandelenmarkt. De huidige generatie van programmeurs denkt dat we eindelijk kunnen bewijzen dat Ada Lovelace het bij het verkeerde eind had: dat je er wel degelijk meer uit kunt halen dan wat je erin hebt geprogrammeerd.

Toch is er nog steeds één gebied van menselijk handelen waarvan we denken dat machines er nooit aan kunnen tippen, en dat is creativiteit. Wij hebben het bijzondere vermogen tot verbeeldingskracht en innovatie en kunnen kunstwerken maken die verheffen, uitbreiden en transformeren wat het betekent om mens te zijn. Dit zijn de uitingen van wat ik de menselijke code noem.

We denken dat alleen mensen over deze code kunnen beschikken, omdat hij weerspiegelt wat het betekent om mens te zijn. Dankzij het *Requiem* van Mozart kunnen wij nadenken over onze eigen sterfelijkheid. Door naar een opvoering van *Othello* te kijken kunnen we ons eigen emotionele landschap van liefde en jaloezie verkennen. Een portret van Rembrandt lijkt zoveel meer te vangen dan alleen het uiterlijk van degene die model heeft gestaan. Hoe kan een machine ooit Mozart, Shakespeare of Rembrandt vervangen, of zelfs maar met hen concurreren?

Ik wil allereerst duidelijk maken dat mijn referentiekader wordt gedomineerd door de artistieke uitingen van het Westen. Dat is de kunst die ik ken, de muziek waarmee ik ben grootgebracht en de literatuur die ik

doorgaans lees. Het zou fascinerend zijn om uit te zoeken of kunst uit andere culturen geschikter is om door de uitvoer van een machine te worden gevangen, maar ik vermoed dat hier een universele uitdaging ligt, die culturele grenzen overstijgt. Hoewel ik me dus verontschuldigd voor mijn westerse gezichtspunt, denk ik dat dit een geschikte toetssteen vormt voor de creativiteit van onze digitale concurrenten.

De menselijke creativiteit beperkt zich natuurlijk niet tot de kunst: we hebben de moleculaire gastronomie van driesterrenchef Heston Blumenthal, het magische voetbal van Johan Crujff, de golvende gebouwen van Zaha Hadid, de uitvinding van de Rubiks kubus door de Hongaarse Ernő Rubik. Zelfs het creëren van code om een spel als *Minecraft* te maken zou gezien moeten worden als een van de grote uitingen van de menselijke creativiteit.

Je zou het niet direct verwachten, maar ook op mijn eigen vakgebied van de wiskunde speelt creativiteit een belangrijke rol. Een van de redenen waarom ik urenlang achter mijn bureau zit, vergelijkingen bedenken en bewijzen uitschrijven, is dat het zo leuk is om iets nieuws te maken. Mijn grootste creatieve moment, waar ik steeds weer aan terugdenk, was toen ik een nieuw symmetrisch object bedacht. Niemand wist dat dit object mogelijk was. Maar na jaren van hard werken en een plotselinge flits van inspiratie schreef ik op mijn gele notitieblok de blauwdruk voor deze nieuwe vorm. Die roes van pure opwinding is wat creativiteit zo aantrekkelijk maakt.

Maar wat bedoelen we eigenlijk met deze ongrijpbare term? Pogingen tot een definitie cirkelen vaak rondom drie ideeën: creativiteit is de motivatie om iets te bedenken wat nieuw en verrassend is en een bepaalde waarde heeft.

Iets nieuws maken blijkt helemaal niet zo moeilijk te zijn. Ik kan mijn computer een eindeloze reeks voorstellen voor nieuwe symmetrische objecten laten uitspugen. Het zijn de verrassing en de waarde die meer moeite kosten. Bij mijn symmetrische creatie was ik oprecht verrast over wat ik had geproduceerd, en andere wiskundigen ook. Niemand had dat eigenaardige, nieuwe verband verwacht dat ik had ontdekt tussen dit symmetrische object en het ongerelateerde onderwerp van de getaltheorie. Het ontleende zijn waarde aan het feit dat dit object een nieuw inzicht suggereerde op een gebied van de wiskunde dat nog vol onopgeloste problemen zit.

We worden meegezogen met gedachtepatronen. We menen te zien hoe het verhaal zich gaat ontwikkelen, maar dan worden we plotseling in een andere richting geduwd. Dit verrassingselement zorgt ervoor dat we gaan opletten. Waarschijnlijk krijgen we daarom een kick als we getuige zijn van een creatieve handeling, of die nu door onszelf of door iemand anders wordt uitgevoerd.

Maar waardoor krijgt iets waarde? Is dat gewoon een kwestie van de prijs ervan? Moet het door anderen worden erkend? Ik kan zelf waarde hechten aan een gedicht of een schilderij dat ik heb gemaakt, maar mijn opvatting van die waarde wordt waarschijnlijk niet breed gedeeld. Een verrassende roman met veel plotwendingen heeft misschien relatief weinig waarde, maar een nieuwe en verrassende benadering van verhalen vertellen, architectuur of muziek die door anderen wordt opgepakt, en die onze blik op of ervaring van de dingen verandert, zal meestal wel als waardevol worden erkend. Dat is wat Kant de ‘exemplarische originaliteit’ noemt, een oorspronkelijke handeling die een inspiratie wordt voor anderen. Deze vorm van creativiteit is lang beschouwd als iets uniek menselijks.

En toch zijn al deze uitingen van creativiteit op een bepaald niveau de producten van neuronale en chemische activiteit. Dit is de menselijke code die door miljoenen jaren van evolutie in ons brein is ingeslepen. Wanneer je de creatieve uitingen van de menselijke soort nader analyseert, zie je dat er regels ten grondslag liggen aan het creatieve proces. Is onze creativiteit misschien meer gebaseerd op regels en algoritmes dan we zouden willen toegeven?

De uitdaging van dit boek is om de nieuwe AI tot het uiterste te testen, om te zien of deze zich kan meten met de wonderen van onze menselijke code, of die zelfs kan overstijgen. Kan een machine schilderen, muziek componeren of een roman schrijven? Misschien kan zij niet concurreren met Mozart, Shakespeare of Picasso, maar kan ze wellicht even creatief zijn als onze kinderen wanneer ze een verhaal schrijven of een tekening maken? Kan een machine creativiteit aanleren door interactie met de kunst die ons ontroert, en door inzicht in het verschil tussen kunst en het gewone, alledaagse? Sterker nog, kan ze onze eigen creativiteit aanvullen en ons mogelijkheden tonen die wij hebben gemist?

‘Creativiteit’ is een glibberig woord dat onder verschillende omstandigheden op verschillende manieren kan worden opgevat. Ik zal me voornamelijk richten op de creativiteit in de kunst, maar dat betekent niet dat dit

de enig mogelijke vorm van creativiteit is. Mijn dochters zijn creatief wanneer ze legokastelen bouwen. Mijn zoon wordt geprezen als een creatieve middenvelder wanneer hij zijn voetbalteam naar de overwinning schiet. We kunnen dagelijkse problemen op een creatieve manier oplossen, en we kunnen organisaties op een creatieve manier leiden. En ik zal ook laten zien dat de wiskunde een veel creatiever onderwerp is dan vaak gedacht wordt, en in feite veel gemeen heeft met de scheppende kunsten.

De creatieve impuls is een belangrijk onderdeel van wat mensen onderscheidt van andere dieren, maar desondanks laten we die vaak stagneren, en maken we onszelf tot slaven van onze routines en vaste formules. Creatief zijn betekent dat we ons moeten losrukken van de gebaande paden die we dagelijks bewandelen. Een machine zou daarbij kunnen helpen: die kan ons misschien net dat ene zetje geven, een nieuwe suggestie opperen, voorkomen dat we elke dag gewoon hetzelfde algoritme afdraaien. Machines zouden ons mensen uiteindelijk kunnen helpen om ons minder als machines te gedragen.

Misschien vraag je je af waarom juist een wiskundige jou wil meenemen op deze reis. Het eenvoudige antwoord luidt dat AI, machine learning, algoritmes en code allemaal ten diepste wiskundig zijn. Als je het hoe en waarom wilt begrijpen van de algoritmes die het moderne leven bepalen, moet je de wiskundige regels begrijpen waarop ze gebaseerd zijn. Als je dat niet doet, zullen de machines je leven beheersen.

AI daagt ons uit tot in ons diepste wezen, omdat ze ons laat zien dat veel menselijke taken net zo goed of zelfs beter door machines kunnen worden gedaan. Maar dit boek richt zich niet op een toekomst met zelfrijdende auto's en computergestuurde geneeskunde. In dit boek wordt onderzocht of deze algoritmes betekenisvol kunnen concurreren met de kracht van de menselijke code. Kunnen computers creatief zijn? Wat betekent het om creatief te zijn? Hoeveel van onze emotionele reactie op kunst is eigenlijk een product van ons brein dat reageert op patronen en structuren? Dit zijn een paar voorbeelden van wat we gaan onderzoeken.

Toch is dit niet zomaar een interessante intellectuele oefening. De artistieke producten van mensen geven inzicht in de complexe menselijke code die ons brein bestuurt en tegelijkertijd biedt de kunst die door computers wordt gegenereerd een verrassend goede manier om te begrijpen hoe de code werkt. Een van de problemen van de code die op deze bottom-up manier ontstaat, is dat de programmeurs vaak niet echt begrijpen hoe