AI in Vlaanderen

Prof. Dr. Bart De Moor
bart.demoor@kuleuven.be

Prof. Dr. Maarten De Vos
maarten.devos@kuleuven.be

Prof. Dr. Celine Vens
celine.vens@kuleuven.be

Prof. Dr. Ann Nowe
ann.nowe@vub.be

Dr. Rob Heyman
rob.heyman@vub.be

Alle auteurs zijn betrokken in verschillende onderdelen van het Vlaamse AI programma, waaronder het Onderzoeksprogramma, de Vlaamse AI Academie en het Kenniscentrum Data en Maatschappij.

Samenvatting

Artificiële intelligentie – AI – dient zich aan als een nieuwe systeemtechnologie, omdat wordt verwacht dat de impact ervan onze samenleving in de toekomst in al haar dimensies drastisch zal veranderen.
Dit hebben we ook gezien bij vorige golven van impactvolle systeemtechnologieën, zoals energie-, kwantum-, informatie- en communicatie- en biotechnologieën. Dergelijke systeemtechnologieën co-evolueren volgens nieuwe wetenschappelijke inzichten en technologische innovaties en induceren, op een mondiale schaal, talloze maatschappelijke en sociale veranderingen. De systeemtechnologieën versnellen mekaar in toenemende mate en op deze manier wordt AI een volgende logische multidisciplinaire ontwikkeling. Door de ontwikkeling van AI in een historische, meer incrementele context te kaderen, temperen we ook enigszins de torenhoge, te hoog gespannen verwachtingen die in AI gesteld worden. Dit contextualiseren draagt ook bij tot verdere demystificatie van AI, omdat we de geleidelijkheid van de nieuwe ontwikkelingen beschrijven.
Deze bijdrage is opgebouwd als volgt: vooreerst beargumenteren we dat de notie van intelligentie absoluut niet voor de hand liggend is. We doen dit aan de hand van voorbeelden uit de kosmologie, de Natuur en de techniek, die tot nadenken stemmen. We beschrijven ook enkele prille voorbeelden van AI in de praktijk van vandaag. Vervolgens tonen we aan hoe, door de ontwikkeling van wetenschap en technologie de laatste 300 jaar, de eerder geciteerde systeemtechnologieën de mogelijkheidsvoorwaarden hebben geschapen voor de groei van AI die we vandaag waarnemen. Verwacht wordt dat AI de trein van de andere systeemtechnologieën zal vervoegen, waardoor we in alle domeinen nieuwe versnellingen zullen zien, zowel in wetenschappelijke als technologische doorbraken. Vanuit deze historische beschouwingen, formuleren we tot slot verschillende beleidsadviezen.

Wat is intelligentie?

Wat is intelligentie? Al eeuwen buigen filosofen zich over deze vraag. Als er al antwoorden zijn, zijn deze eerder beschrijvend en kwalitatief van aard. Ook wetenschappers en ingenieurs uit alle mogelijke disciplines trachten bepaalde deelaspecten van intelligentie te begrijpen en kwantificeren, maar een allesomvattende wetenschappelijke theorie ontbreekt tot nader order. Dus nadenken en spreken over intelligentie, laat staan Artificiële Intelligentie (AI), is nog altijd bijzonder speculatief.

Zijn dieren intelligent? Hoe slagen mieren erin om een georganiseerd pad te maken naar een interessant stukje voedsel, communicerend via feromonen en alles wat daarmee samenhangt? Is dit iets wat collectief wordt aangeleerd, of zit het ingebakken in hun genetisch materiaal? En wat met *emergentie*, het fenomeen waarbij individuele gedragingen en acties op microniveau leiden tot synergetische eigenschappen op macroniveau: De bolvormige nesten van wespen, in een soort papier-maché, met binnenin zeer geometrische raten; De metershoge toren-nesten van termieten, absoluut hightech, met

incorporatie van fundamentele thermodynamische principes van airconditioning om de temperatuur te regelen; Of nog, de indrukwekkende camouflagetechniek van sommige octopussen, die in een fractie van seconde hun uiterlijke textuur aanpassen aan deze van de achtergrond.

Deze indrukwekkende realisaties zijn *genetisch* voorgeprogrammeerd in het DNA van de soort, gedreven door Darwin's '*survival-of-the-fittest'.* Door middel van genetische mutaties doet de Natuur op elk moment in parallel miljoenen experimenten, waarvan sommige succesvol zijn en andere een complete ramp. Eigenlijk gebruikt de Natuur hier een soort probabilistisch algoritme, door miljoenen probeersels elke dag, gespreid over duizenden zo niet, miljoenen jaren, waardoor mieren, wespen en termieten leren om hun indrukwekkende nesten te bouwen. Het is een voorbeeld van natuurlijk 'leergedrag' door 'vallen en opstaan', maar dan over duizenden generaties lang en met tijdsschalen in de orde van grote van millennia. De nesten van mieren, wespen en termieten zijn wat ze zijn, omdat andere variaties en probeersels minder goed bleken te zijn, wat leidde tot het verdwijnen van bepaalde genetische variaties ten voordele van de huidige. Het probabilistisch leer-algoritme dat Darwin beschreef, is trouwens een rechtstreekse inspiratiebron van wat in machine-learning 'evolutionaire algoritmen' wordt genoemd.

Maar er zijn nog talloze andere voorbeelden van leergedrag. Waarom vliegen eenden in hun tocht naar het Noorden in een V-vorm? Begrijpen zij intuïtief de notie van waaiervorming? 'Begrijpen' is wellicht te kort door de bocht: Feit is dat zij gebruik maken van een ander principe dat tot leergedrag kan leiden, namelijk 'de weg van de minste weerstand'. In het geval van de eenden gaat het om aerodynamica, elk individu maakt optimaal gebruik van de 'slipstream' van zijn voorganger, net zoals wielrenners dat ook doen.

Het principe van 'minimale weerstand' is echter universeel: systemen en gedragingen in de Natuur streven naar een minimum van (potentiële) energie. Dat de wetten van de kosmos, van materie en energie, heel complex zijn, hoeft geen betoog. Maar de notie van energieminimalisatie is er een essentiële hoeksteen van. Op die manier wordt met de Algemene Relativiteitstheorie verklaard wat de kortste afstand is tussen twee punten. Dat is over het algemeen geen rechte, maar wel een '*geodeet*', een gekromde curve in het ruimtetijd continuüm, dat vervormd wordt door grote massa's, zoals sterren en zwarte gaten. Ook in het zogenaamde Standaardmodel van de deeltjesfysica, dat het elektromagnetisme unificeert met de sterke en zwakke kernkracht, volgt alle dynamica van de elementaire deeltjes uit het minimaliseren van de zogenaamde Lagrangiaan, die gevormd wordt uit alle bijdragen van kinetische en potentiële energieën. De enorme complexiteit van de bouwstenen van het Universum bracht grote wetenschappers, zoals Einstein, ertoe om te filosoferen over een soort van kosmische intelligentie: het Universum is zo intelligent dat wij het niet (nog niet?) kunnen verstaan!
Feit is dat dit principe van energieminimalisatie ook de basis vormt van heel wat 'leeralgoritmen' in AI, die gebaseerd zijn op de minimalisatie van energie en daardoor beste keuzes maken in alle mogelijke oplossingen die zich aanbieden.

Er zijn echter nog andere vormen van leren, naast de genetische 'survival-of-the-fittest' of het universele principe van energieminimalisatie. Is een hond die een weggegooide stok leert terugbrengen, intelligent? Is hij daartoe genetisch voorgeprogrammeerd of is het eerder een soort bekrachtigingsleren, zoals bv. een Pavlov-gewijze conditionering? Door een proces van straffen en belonen kunnen we ongewenst gedrag ontraden en gewenst gedrag stimuleren. Deze vorm van bekrachtigingsleren, ook wel 'operante conditionering' genoemd, vormt de inspiratie voor 'reinforcement learning', een leer-algoritme dat vandaag de dag heel veel wordt gebruikt in de ingenieurspraktijk.

Wij mensen, 'leren' rechtop staan, stappen, fietsen, behendigheidssporten letterlijk met vallen en opstaan. Wellicht is de periode van 'pre-volwassenheid' van de mens, in tegenstelling tot die bij andere dieren, zo lang (bijna 20 jaar), omdat we zoveel complexe situaties moeten leren modelleren, en dan ook nog leren er navenant naar te handelen.

Maar door de technologie die we ontwerpen, versnellen we ook nog de natuurlijke evolutie van onze soort. Net als apen, en vele andere dieren, maken wij werktuigen die uit verschillende onderdelen

bestaan. Volgens sommigen zijn op die manier technologie en techniek 'trans-biologische' versnellingen van de 'natuurlijke' evolutie. Voor sommige technieken laten we ons inspireren door de Natuur (dit wordt 'biomimetiek'[1] genoemd), maar andere ontspruiten aan ons creatief brein. Ergens in de menselijke evolutie is onze hersencapaciteit zienderogen toegenomen, waardoor ons leergedrag niet enkel genetisch bepaald wordt, of door fysische natuurwetten, dan wel door bewustzijn, inventiviteit, creativiteit en uiteraard ook door expliciete kennisoverdracht.

Ook de technische oplossingen waarmee we voor de dag komen vertonen een speciale vorm van intelligentie. Is het doorspoelmechanisme van een toilet, uitgevonden door de oude Grieken, intelligent? Neen, natuurlijk niet. Maar hoe 'weet' dat ding dat de watertoevoerkraan moet worden afgestopt? Is de centrifugaal-regelaar van Watt, de twee ronddraaiende bollen die gemonteerd werden op stoommachines, intelligent? Neen, natuurlijk niet. Maar toch wordt de rotatiesnelheid van de machine constant gehouden door een intelligent samenspel tussen druk, snelheid en middelpuntvliedende kracht. Is het servo-stuur van een wagen intelligent? Neen, natuurlijk niet. Maar hoe 'weet' dit systeem, dat bestaat uit elektronische, mechanische, hydraulische en algoritmische componenten, dat het kracht moet bijzetten om de wielen naar links of rechts te laten draaien, wanneer de chauffeur, zonder enige merkbare fysieke inspanning, het stuur die richting opdraait?

De systemen die we hier als voorbeeld nemen, zijn op zich niet intelligent, maar bevatten een ander belangrijk basisprincipe van AI-systemen: automatisatie! De etymologie van dit woord is terug te brengen naar het Grieks, waar het zoiets betekent als '*handelen volgens de eigen wil'*. De gegeven voorbeelden zijn mechanische, elektrische of 'software' constructies die ***voorgeprogrammeerd*** zijn om te doen wat ze moeten doen, namelijk bepaalde ***objectieven***, ***doelstellingen***, ***richtwaarden***, nastreven. Dit doen ze door gebruik te maken van ***terugkoppeling*** ('feedback'), waarbij een bepaalde ***meting*** ('sensing' door 'sensoren') wordt ***vergeleken met een gewenste waarde*** en dan ***omgerekend wordt*** in een bepaalde ***actie*** die moet worden uitgevoerd ('actuating' via 'actuatoren'). In de 'voorprogrammatie' zit altijd een ***wiskundig model*** vervat van het systeem dat moet geregeld worden. Al deze componenten samen vormen het basisschema van 'automatic control' (regeltechniek), een ingenieursdiscipline die soms wel omschreven wordt als de 'hidden technology'. Deze verborgen technologie is aanwezig in talloze toepassingen en is vaak behoorlijk ingewikkeld en geavanceerd: De automatische piloot in een vliegtuig, de 'control rooms' in de grote industriële chemiebedrijven, de volledige technologie van een zelfrijdende auto, de besturing van een opstijgende raket in de bemande ruimtevaart, het internationale elektriciteitsnet ('smart grid') met zijn productie, transmissie, distributie, consumptie van elektrische energie. Het zijn allemaal voorbeelden van gigantische interactieve regelsystemen die autonoom hun opdrachten tot een goed einde brengen, en die allen gebaseerd zijn op (wiskundige) modellen door ingenieurs en/of domeinexperten gemaakt.

Misschien nog het meest indrukwekkende voorbeeld van een geautomatiseerd systeem is de mens zelf. Heel onze regeltechniek bestaat uit een indrukwekkende hiërarchie van honderden regellussen (terugkoppelingen) op macroscopisch en microscopisch (cel) niveau. Elk van deze systemen heeft eigen specifieke objectieven (stabiliteit, volgzaamheid, robuustheid, enz.), sensoren die metingen verrichten (ogen, evenwichtsorgaan, …), actuatoren (bijv. spieren), rekenmodules (modellen leren of reactiepatronen bepalen via onze hersenen, of beroep doen op ons voorgeprogrammeerd DNA). Hoe we groeien als embryo. Hoe we onze lichaamstemperatuur constant houden. Hoe ons immuunsysteem bacteriën en virussen aanvalt en (hopelijk) elimineert. Hoe we terug gezond worden. Hoe we kunnen stappen en lopen, en ondertussen een bal naar mekaar gooien. Hoe we kunnen fietsen en in de sprint toch rechtop blijven niettegenstaande een elleboogstoot.

De vele voorbeelden uit kosmologie, Natuur en technologie, hebben ons toegelaten enkele basis-ingrediënten van AI te beschrijven: leergedrag, minimalisatie van energetische objectfuncties, automatisatie. Verderop komen er nog enkele andere, maar nu eerst even een *flash forward.*

Vandaag de dag associëren velen AI vooral met de grote en zeer visibele bedrijven zoals Google, Facebook, Amazone. Google investeert veel middelen in het bouwen van een '*general purpose AI'*, dat niet getraind wordt op één taak (bijv. een liedje herkennen, het vertalen van een tekst, het interpreteren

van een CT-scan, enz.), maar dat enkele honderden verschillende taken zou aankunnen. Ook andere huidige, reeds bestaande verwezenlijkingen van AI zijn behoorlijk knap: AI-taalmodellen die een taal kunnen aanleren en schrijven, 'creatieve' AI die een familiefoto omzet in een schilderij in de stijl van Van Gogh, … Is dit intelligentie? Neen, het is eerder automatisatie, maar dan wel van een (nieuwe) soort die ons aangenaam kan verrassen. Toch staan we nog nergens. Een pasgeboren veulen is nog vele malen 'intelligenter' dan de meest geavanceerde Tesla. Maar toch. Het platform 'AlphaFold'[2] van het bedrijf DeepMind presteert het om, via 'deep learning', de complexe driedimensionale structuur van ongeveer 200 miljoen proteïnen te bepalen, van ongeveer elk gekend levend organisme op Aarde. Dit probleem staat bekend als de 'heilige graal' van de biotechnologie omdat elk proteïne verschillende ruimtelijke vormen kan aannemen, en de functionaliteit van de proteïne bepaald wordt door de precieze vorm ervan ('docking' als 'targets' voor medicijnen). De resultaten van AlphaFold zullen vrij kunnen worden geraadpleegd en de publieke beschikbaarheid van de hele database zal een revolutie teweegbrengen in de ontwikkeling van nieuwe therapieën of in het begrijpen van het proteoom (de verzameling van alle proteïnes van een organisme) van bijvoorbeeld pathogenen.

Dit brengt ons bij nog een ander belangrijk ingrediënt van (toekomstige) AI-systemen, namelijk de grootschaligheid ervan. Het is duidelijk dat de resultaten behaald door AlphaFold nooit door mensen zouden kunnen worden bereikt. Er is grootschalige automatisatie nodig en ook een 'intelligente' manier om bijv. de driedimensionale structuren voor te stellen, gemeenschappelijke kenmerken te ontdekken en gestructureerd te beschrijven, enz. Omgaan met 'big data' en 'high-throughput' zijn daarom ook essentieel voor vele toekomstige AI-systemen.

De wortels van AI

Er bestaan talloze boeken en referenties over de huidige stand van AI, maar enkele boeken[3] [4] met Stuart Russel als (co-)auteur zijn een aanrader.
Soms wordt het begin van AI gedateerd in 1956 met de organisatie van de Dartmouth Summer Research Project, dat volgende doelstelling voor ogen had:
"The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it. An attempt will be made to find how to make machines use language, form abstractions and concepts, solve kinds of problems now reserved for humans, and improve themselves. We think that a significant advance can be made in one or more of these problems if a carefully selected group of scientists work on it together for a summer."

Een meer flexibele definitie van AI wordt gehanteerd door CLAIRE[5]: *"AI encompasses algorithms and systems that can replicate, support or surpass human perceptual, linguistic and reasoning processes; learn, draw conclusions and make predictions based on large or small quantities of data; replicate or enhance human perception; support humans in diagnosis, planning, scheduling, resource allocation and decision making; and cooperate physically and intellectually with humans and other AI systems".*

De "Dartmouth formulering" refereert eerder naar een symbolische benadering van AI, waar men kennis en redeneerprocessen expliciet modelleert, en artificiële intelligentie de processen van de menselijke intelligentie simuleert. De focus is ook op problemen die een vorm van expertise vereisen, zoals medische diagnose (het zoeken van de oorzaak van de symptomen) of schaken (een plan bedenken om een doel te bereiken).
De eerste benadering is jarenlang de dominante stroming geweest, met in het bijzonder de zogenaamde expertsystemen, die populair waren in de jaren 90. Eigen aan deze was de mogelijkheid om de redenering die gevolgd werd, uit te leggen. Ook de mogelijkheid tot zelfreflectie werd als belangrijk gezien. Het onderzoek richtte zich dan ook naar algemene architecturen die dit konden realiseren. Het effectieve bouwen van een expert system voor een bepaalde toepassing, gebeurde dan op basis van een geschikte architectuur, die het gewenste redeneerproces kon ondersteunen. De meeste expertsystemen zijn gebaseerd op 'regels' ('rule-based', bijv. 'Als dit…. dan dat….'). Deze benadering heeft sterke linken met logica. Het effectief bouwen van een expert system was arbeidsintensief, gezien de kennis

en het redeneerproces via interviews met domein experten diende gedocumenteerd te worden. De tweede generatie expertsystemen, liet al meer toe om de kennis gedeeltelijk 'autonoom' aan te leren.

De tweede benadering, heeft een moeilijke start genomen, maar is vandaag, samen met wat men de statistische AI noemt, de dominantere. Hier is een en ander in een snelle evolutie terecht gekomen door de exponentiële toename van data in alle mogelijke domeinen, en ook door grote vooruitgang op het gebied van numerieke algoritmen, geïnduceerd door steeds krachtiger computers.

AI-algoritmen en toepassingen dienen echter niet noodzakelijk binnen één benadering te vallen, de 'symbolische' of de 'numeriek statistische', maar kunnen ook combinaties ervan zijn, wat wel eens hybride AI wordt genoemd.

Het ontstaan van AI is echter niet zomaar terug te brengen tot één enkel moment in de geschiedenis van wetenschap en technologie, maar zoals veelal het geval is, is het eerder een evolutief gegeven met een incrementele ontstaansgeschiedenis, en heeft het domein meerdere AI-zomers gekend, periodes van toenemend 'belief', en AI-winters van 'disbelief', waarin scepticisme de bovenhand nam.

Reeds eeuwen geleden werden allerlei 'automaten'[6] ontwikkeld die intelligent lijken: ja of nee knikkende beelden, het mysterieuze Antikythera mechanisme, wat misschien de eerste analoge computer is, mechanische klokkenluiders, dieren-, schaak-en schrijfautomaten, enz. Maar de huidige 'zomer' van nieuwe AI-ontwikkelingen, is diepgeworteld in de exponentiële vooruitgang van wetenschap en technologie sinds pakweg 300 jaar, in verschillende disciplines. Deze hebben de mogelijkheidsvoorwaarden geschapen waardoor AI de dag van vandaag snel naar een nieuwe systeemtechnologie evolueert.

Zonder al te filosofisch te worden, zouden we wetenschap kunnen beschrijven als een door nieuwsgierigheid gedreven drang van de mens om de Natuur beter te begrijpen. Tegelijkertijd wordt ons individueel en collectief menselijk bewustzijn gekenmerkt door een quasi ongebreidelde *creativiteit*, die ons toelaat om machines, apparaten, systemen, technieken, methodes, … te *ontwerpen.* Wetenschap gaat over *analyseren en begrijpen* en technologie over *ontwerpen en design.* Het zijn de doorbraken en realisaties in andere systeemtechnologieën die nu ook culmineren in AI, en zeer in het bijzonder in de vele toepassingen ervan.

Zonder het belang van logica te vergeten, vertrekken we voor onze systeemtechnologie-schets toch eerst en vooral bij de wiskunde. Hoewel meetkunde en algebra tot ons zijn gekomen via de Grieken en Arabieren, is het toch vooral Isaac Newton, met zijn werken over Optica en de Principia Mathematica, die de *mathematisering* van de wetenschap heeft ingeluid. Hij bevestigde hierbij het adagio van Galileo Galilei, namelijk dat '*het boek van de Natuur geschreven is in de taal van de wiskunde'*. Newton ontdekte de taal ('analyse') om dynamische systemen te beschrijven door middel van differentiaalvergelijkingen ('systeemtheorie'). Ook in de 17de-18de eeuw werd het volledige formalisme uitgedacht van optimale trajecten van minimale energie, door wiskundigen zoals Euler, Lagrange en Hamilton, het soort wiskunde waarmee tot op de dag van vandaag niet alleen de fysische werkelijkheid wordt beschreven, maar waarmee ook AI-systemen optimaal worden aangestuurd. Niet zo lang na Newton, begon de Eerste Industriële Revolutie, met haar stoommachines aangedreven door steenkool. Dit resulteerde dan weer in belangrijke wetenschappelijke doorbraken in de 19de eeuw, in disciplines zoals chemie (de tabel van Mendeljev) en de thermodynamica, in een succesvolle poging om de fundamentele werking van machines (energie, warmte, arbeid, dissipatie, entropie) beter te begrijpen, en zo ook uiteindelijk betere ontwerpen te maken. Toen kwam Maxwell, met zijn geünificeerde wetten van elektromagnetisme, niet weg te denken uit alle energie-, informatica- en communicatie-toepassingen van vandaag. De Tweede Industriële Revolutie initieerde de massaconsumptie, met als energiebronnen olie en gas.
Begin de 20ste eeuw kwam de draaiende motor van wetenschap en technologie pas goed op dreef. In de eerste helft ervan met de spectaculaire ontwikkeling van de kwantumtheorie, die leidde tot de uitvinding van de transistor in 1948. Dit was het startschot van een Derde Industriële Revolutie, deze van de Informatie- en Communicatietechnologieën (ICT), gekenmerkt door het gebruik van kernenergie als

energiebron, steeds krachtiger computers, met steeds meer geheugen en rekenkracht, mondiale communicatienetwerken (Internet, WWW) en nieuwe wiskundige disciplines zoals (kwantum)informatietheorie, numerieke optimalisatie, cryptografie en de volledige ontwikkelingen van de computerwetenschappen (algoritmen, programmeren).

Vanaf de 2de helft van de 20ste eeuw zien we ook spectaculaire doorbraken in de biologie, de wetenschap van het leven: de ontdekking van de dubbele helixstructuur van het DNA, de basismechanismen van het leven en van erfelijkheid, de ontrafeling van het menselijk genoom, enz. Hierdoor krijgen we een steeds gefundeerder zicht op de menselijke geneeskunde, oorzaken van ziekte en gezondheid, en groeien we ook stilaan van een 'analyse'-fase naar een 'design'-fase, waarin ook nieuwsoortige biologische systemen zullen ontworpen worden (immunotherapie, 'synthetische biologie').

Kenmerkend voor deze systeemtechnologieën is dat ze ***blijvend evolueren***. Neem nu energie. Van uit doorgedreven wetenschappelijk onderzoek begrijpen we er steeds meer van, en technologisch evolueerden de energiebronnen sinds de Eerste Industriële Revolutie van steenkool, over olie en gas in de Tweede Industriële Revolutie, naar kernenergie in de Derde, en de grote doorbraak van hernieuwbare energieën vandaag. Neem ook ICT. De vooruitgang in de fysica induceerde een dramatische evolutie van mechanische, over elektromechanische rekentuigen naar transistor-gedreven computers die de wetten van de kwantumfysica exploiteren, waarbij we nu stilaan evolueren naar nieuwe generaties (kwantum)computers, gebaseerd op de notie, niet van bits, dan wel van qubits, die met mekaar 'vervlochten' zijn ('entangled').

De evolutie van deze systeemtechnologieën speelt zich af zowel op ***microscopisch niveau als op macroscopisch niveau***. Neem de biotechnologie. De doorbraken op microscopisch niveau (genomics, proteomics, transcriptomics, single-cell, enz.) volgen mekaar op in een razendsnel tempo, maar ook op macroscopisch niveau (het lichaam, biotopen, interacties tussen organismen, enz.) zijn nieuwe inzichten legio.

Door de chronologie in de ontstaansgeschiedenis van de verschillende systeemtechnologieën, maakt elke nieuwe systeemtechnologie dankbaar gebruik van de realisaties van de vroegere golven. Zo bijv. vergde het verkrijgen van diepere inzichten in het Standaardmodel van de deeltjesfysica, de organisatie van talloze botsings-experimenten in gigantische deeltjesversnellers. Voortbouwend op deze inzichten werden dan transistor-gedreven computers ontwikkeld. Vooruitgang in de biotechnologie is enkel mogelijk door steeds krachtiger lab-faciliteiten ('wet lab') in combinatie met geavanceerde ICT en software.

Elke systeemtechnologie brengt ook nieuwe wetenschappelijke disciplines met zich mee die toelaten een dieper theoretisch inzicht op de werkelijkheid te ontwikkelen. Hieruit ontstaan dan weer nieuwe mogelijke toepassingen en technologieën. Deze evoluties zijn geen lineaire processen, maar eerder circulair. Ze werken versterkend binnen een systeemtechnologie zelf, maar de kruis- en interdisciplinariteit neemt ook steeds meer de bovenhand. Binnen een bepaalde systeemtechnologie is het ook niet nodig om voor alles een sluitend wetenschappelijk kader te hebben, vooraleer een en ander technologisch kan worden uitgewerkt. We konden bruggen en kastelen bouwen lang voor Newton. Watt perfectioneerde de stoommachines lang voor we de thermodynamische werking ervan konden uitleggen. De gebroeders Wright konden vliegen vooraleer we de basiswetten van de aerodynamica doorgrond hadden. De transistor zat al twintig jaar in onze computers vooraleer we de basiswetten van het Standaardmodel hadden ontdekt. En nu ontwikkelen we AI lang vooraleer we zelf het concept van 'intelligentie' doorgrond hebben.

Het is duidelijk dat AI schatplichtig is aan elk van de wetenschappelijke doorbraken die we hierboven kort opsomden, als aan elk van de systeemtechnologieën die we beschreven. We hadden het al over de noties van 'leren', van optimalisatie, van automatisatie en van de opportuniteiten geboden door de tsunami aan 'big data'. De mogelijke toepassingen zijn onuitputtelijk en zijn te vinden in alle domeinen waarin steeds meer data ter beschikking zijn. Denk maar aan alles wat met 'nutsvoorzieningen' te maken heeft: netwerken voor communicatie, voor elektriciteit, gas, water, voor mobiliteit. Denk maar

aan diepere inzichten in de 'levende' planeet en het klimaat. Denk aan de verdere ontsluiting van cultureel erfgoed, door AI-algoritmen los te laten in de 'digital humanities' (schilderijen, retabels, muziek, incunabelen, enz.). Denk ook aan nieuwe doorbraken in fundamenteel wetenschappelijk onderzoek: het verder ontrafelen van de geheimen van de kosmos (donkere materie via de Webb-telescoop), diepere inzichten in de biotechnologie (het voorbeeld van AlphaFold), het experimenteel bewijzen van een 'Grand Unified Theory' in de fysica door met AI de petabytes aan experimentele data te doorploegen, enz.

De wortels van AI gaan diep, en het potentieel ervan lijkt gigantisch. Het heeft er alle schijn van weg dat AI zal uitgroeien tot een nieuwe systeemtechnologie waarvan de impact pervasief is in alle takken van de wetenschap en technologie, en die diep zal doordringen in alle menselijke activiteiten. Toch staan we met AI, zowel wetenschappelijk en technologisch, nog maar in onze kinderschoenen. Alleen al de naamgeving zelf, 'artificiële intelligentie', is een bijna krampachtige vorm van *'wishful thinking'*. Neem nu de definitie die de '*Europese High-Level Group on AI'* hanteert: "*AI bestaat uit systemen die intelligent gedrag vertonen door hun omgeving te analyseren en – met enige graad van autonomie – actie ondernemen om specifieke doelen te bereiken''*. Dit is natuurlijk een vrij algemene en generische, en daardoor bijna nietszeggende omschrijving. Zoals we eerder betoogden, bestaan verschillende ingrediënten van deze omschrijving al lang. En de echt fundamentele vragen blijven tot nader order onbeantwoord: 'Wat is intelligentie'? 'Wat is het vermogen tot analyseren'? Wat is autonomie tot actie?

De graad van autonomie van AI-toepassingen vandaag is zeer relatief, en is eerder gebaseerd op voorgeprogrammeerde automatisatie, weliswaar soms zeer complex of op een meta-niveau. En wat bedoelen we dan precies met 'artificieel'? Bedoelen we 'nagebootst', zoals het geval was bij de automaten die we eerder beschreven, of expliciet geformaliseerd zoals bij symbolische AI? Of bedoelen we een soort intelligentie die de menselijke overtreft, zoals in het voorbeeld van AlphaFold? Maar daar lag de doorbraak nu net niet op het niveau van intelligentie, dan wel op een doorgedreven algoritmische automatisatie.

Wijzend op de chronologische ontstaansgeschiedenis van de systeemtechnologieën, lijkt het momenteel ook wel zo dat we de biologie nog niet volwaardig meenemen in het nadenken over AI. Een toenemend aantal wetenschappers is ervan overtuigd dat we niet de juiste weg volgen om 'externe' intelligentie te ontwikkelen. Nochtans zijn de originele ideeën voor 'artificiële neurale netwerken' biomimetisch geïnspireerd door 'echte' neurale netwerken in onze hersenen[7]. Een vlugge vergelijking tussen de werkingsprincipes van onze menselijke hersenen enerzijds, en het menu waarmee we vandaag AI-oplossingen uitwerken anderzijds, spreekt boekdelen: Onze hersenen bestaan uit miljarden geïnterconnecteerde neuronen, die met mekaar interageren via analoge elektrochemische signalen. AI-oplossingen vandaag werken digitaal, transistor gebaseerd, in een algoritmische wereld die binair is, gebaseerd op Booleaanse algebra. Zelfs de zogenaamde neurale netwerken, die zo succesvol geïmplementeerd zitten in 'deep learning' algoritmes, zijn maar vagelijk biomimetisch geïnspireerd op de echte neurale netwerken van onze menselijke hersenen. Ze danken hun succes aan de miljarden rekenstappen per seconde via VLSI-chips, in schril contrast met de eerder trage snelheden van onze hersenen, die eigenlijk analoge computers zijn. In tegenstelling tot de digitale AI-systemen, zijn onze hersenen 'plastisch', ze kunnen zich gemakkelijk aanpassen aan fouten of onnauwkeurigheden, zijn relatief robuust m.b.t. een onnauwkeurig model van de werkelijkheid, en vooral: ze kunnen leren, en ze hebben 'leren leren', dit in tegenstelling tot onze huidige AI-systemen die nog altijd top-down moeten geprogrammeerd worden door de AI ontwikkelaars.

En dan hebben we het nog niet gehad over de notie van bewustzijn. Wat is dat eigenlijk? Is dat een vorm van intelligentie die via een interne feedback-lus zelf-refererend kan zijn, dus naar zichzelf kan verwijzen, zoals de baby die bewust wordt van zichzelf wanneer zij in de spiegel haar eigen neus aanraakt? Zijn bewustzijn, creativiteit en vrije wil manifestaties van eenzelfde onderliggend fundamenteel principe? Is bewustzijn een soort 'emergent fenomeen', dat zijn oorsprong vindt in de interactie van de miljarden neuronen? Ontstaat bewustzijn via kwantumeffecten in zogenaamde micro-tubules (kleine holle tubetjes gemaakt van de proteïne tubulin) in onze hersenen, waar de delicate kwantum-superpositie van elementaire deeltjes, verstoord wordt door een gravitationele instabiliteit in

het ruimte-tijd continuüm, een hypothese die al in 1990 door de latere Nobelprijswinnaar Roger Penrose werd geopperd[8]? Deze hypothese brengt verschillende wetenschappen (biologie, kwantumfysica, gravitatie) samen om, wie weet, ooit, een wetenschappelijke verklaring te vinden voor de notie van echte intelligentie, bewustzijn, creativiteit en vrije wil.
Maar het antwoord op de vraag wat bewustzijn precies is, ligt niet onmiddellijk in het verschiet. Het antwoord is zelfs zo ver weg dat een ingenieur die werkzaam was bij Google, ontslagen werd omdat hij bij hoog en bij laag volhield dat één van hun chatbots, tekenen van bewustzijn toonde[9]. Hij zou hebben ontdekt dat de chatbot een ziel heeft!

Om al deze redenen is het misschien beter om het woord 'artificieel' in AI te vervangen door 'Automated' of 'Assisted': 'Assisted Intelligence' is dan die technologie die de mens in toenemende mate ondersteunt bij het nemen van beslissingen, en door verregaande 'intelligente' automatisatie vervelend en repetitief werk kan overnemen ('Decision-support' systemen). Of misschien ook 'Augmented Intelligence', waarbij de AI-technologie ons toelaat om meer 'evidence-based' beslissingen te nemen, omdat we geholpen worden om de meest heterogene data-bronnen te integreren zodat onze beslissingen meer gefundeerd zijn.

AI: beleidsaanbevelingen voor Vlaanderen

De snelle wetenschappelijke en technologische evoluties van systeemtechnologieën stellen de samenleving, en bijgevolg ook de overheid, voor welbepaalde uitdagingen die ze moet incorporeren en implementeren, en ook, gezien het permanente karakter van hun evolutie, systematisch en recurrent moet monitoren en opvolgen, en waar relevant aanpassen en verfijnen.
Door alle stakeholders in onze samenleving wordt AI als systeemtechnologie een grote impact toegedicht: bron van economische groei, het verbeteren van de dienstverlening en klantvriendelijkheid en -efficiëntie, het verbeteren van de levenskwaliteit (gezondheidsmonitoring, medicijnen, ondersteuning van mindervaliden (bijv. exo-skeletons, een mooi voorbeeld van 'assisted intelligence'), enz.

De Nederlandse Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid[10] WRR formuleerde in haar advies 'Opgave AI: de nieuwe systeemtechnologie'[11] vijf aanbevelingen, die onverminderd van toepassing zijn op de Vlaamse context, omdat de ontwikkelingen en impact van AI nu eenmaal mondiaal en globaal zijn. *Mutatis mutandis* zijn onze aanbevelingen echter iets meer toegespitst op de Vlaamse situatie.

Aanbeveling 1: Fundamenteel onderzoek: We hebben heel in het kort de geschiedenis van de circulaire dynamiek tussen wetenschap en technologie uit de doeken gedaan, vooral om nu te beargumenteren dat doorgedreven investeringen in fundamenteel onderzoek absoluut noodzakelijk zijn. Overheden hebben soms de neiging om verwezenlijkingen op korte termijn na te streven, dat is ook goed, maar vele innovaties zijn uiteindelijk terug te brengen tot nieuwsgierigheids-gedreven onderzoek uit het verleden. Specifiek voor AI hebben we ook aangetoond dat de opportuniteiten en doorbraken multidisciplinair zijn. Zeker in een toegepaste systeemtechnologie als AI, zijn er nog heel veel fundamentele wetenschappelijke open problemen, waarvan we er al enkele hebben opgesomd. Hoe en waarom leiden bepaalde AI-algoritmen tot bepaalde (voorstellen van) oplossingen? Hoe kunnen we die interpreteren, uitleggen en verantwoorden? Waarom is onze 'natuurlijke' intelligentie op totaal andere (biologische) werkingsprincipes gebaseerd dan de 'artificiële' en kunnen we daaruit iets leren? Wat zijn de fundamentele wiskundige grondslagen van 'leren' en van 'intelligentie'?

Aanbeveling 2: Mix van top-down en bottom-up, van fundamenteel en strategisch basisonderzoek: Op elk van de systeemtechnologieën waarnaar we refereerden heeft Vlaanderen adequaat ingespeeld. Voor alles wat met nanotechnologie in brede zin te maken heeft, hebben we *imec*, dat veertig jaar na de oprichting uitgegroeid is tot het grootste onafhankelijke onderzoekscentrum inzake nanotechnologie ter wereld. Voor wat betreft biotechnologie werd het Vlaams Instituut voor Biotechnologie opgericht in 1994. Voor wat betreft energie, is er Energyville, een

samenwerkingsverband tussen imec, VITO en de KU Leuven. En in 2019 keurde de Vlaamse regering een uitgebreide beleidsagenda goed zowel voor Artificiële Intelligentie als voor Cybersecurity.

Deze verschillende initiatieven hebben kenmerken die het succes en de impact ervan verklaren:

- Ze spelen elk in op de belangrijke systeem technologieën van vandaag.
- Ze worden substantieel financieel ondersteund door de Vlaamse regering.
- Ze zijn eigenlijk allemaal 'bottom-up' ontstaan, dus op initiatief van een reeds aanwezige kritische massa van onderzoekers: imec onder impuls van de visionair prof. dr. Roger Van Overstraeten, het VIB onder impuls van vooraanstaande biotechnologen van de verschillende universiteiten, Energyville in een coalitie van experten rond energie, en het AI en Cybersecurityprogramma via een gezamenlijke bottom-up strategie-oefening van onderzoekers, bedrijven en de overheid zelf. Deze bottom-up initiatieven worden gecapteerd en ondersteund door de overheid, die echter ook wel, door middel van vijfjaarlijkse beheerovereenkomsten, duidelijke performantie-criteria naar voor schuift. Deze spelen een belangrijke rol bij een verlenging van de financiering. Deze performantie-criteria stimuleren het behalen van excellentie-niveaus naar internationale standaarden.
- Een belangrijk deel van de middelen gaat naar vraag gedreven en valoriseerbaar onderzoek, 'strategisch basisonderzoek', in samenwerkingsverbanden met gemengde teams van kennisinstellingen, bedrijven of andere partners (zoals overheid zelf, ziekenhuizen, non-for profit instellingen, enz.). Dergelijke samenwerkingsverbanden zijn ook een essentiëel ingrediënt in het zogenaamde 'quadruple helix'-model.
- De managementstructuur van deze initiatieven wordt afgesproken met, niet opgelegd door de overheid en is gebaseerd op een evenwichtige samenstelling vanuit alle stakeholders.
- In toenemende mate is er sprake van kruis-bevruchting tussen deze initiatieven, wat zeker verder gestimuleerd moet worden. De toekomst zal **BANG** zijn: de combinatie van **B**its, **A**tomen, **N**euronen en **G**enen!

Het behoud en verdere consolidatie van deze kenmerken is dan ook wat wij expliciet zouden willen bepleiten voor de toekomst van het Vlaamse innovatiebeleid. Budgettair, voor wat betreft overheidsinvesteringen in O&O, staat Vlaanderen trouwens aan de kop van het Europese peloton: we investeren meer dan 3 % van het BRP in O&O. Het is de absolute verantwoordelijkheid van de overheid om dit investeringsritme aan te houden, zeker ook en bijna vooral in tijden van economische crisis, en ervoor te zorgen dat de investerings-mix evenwichtig blijft, tussen fundamenteel onderzoek, strategisch basisonderzoek en O&O in de bedrijven.

Voor wat betreft AI besliste de Vlaamse regering in 2019 tot een evenwichtig plan[12], dat aan vele van de hierboven opgesomde criteria voldoet of in de toekomst zal voldoen. Het jaarbudget bedraagt 32 mio €, en is opgesplitst in 3 luiken: 12 mio € voor strategisch basisonderzoek, 15 mio € voor subsidies aan AI-ontwikkelingen in de industrie, en 5 mio € voor flankerend beleid dat bestaat uit budgetten voor outreach en communicatie, een Kenniscentrum voor Data en Maatschappij (ethiek, wetgeving), een Vlaamse AI Academie die zich toespitst op de uitbouw van een aanbod Levenslang Leren (LLL) en ondersteuning van verschillende projecten in het onderwijs.

Aanbeveling 3: Eigen niches relevant voor Vlaanderen: Veelgehoorde (Europese) jeremiades komen hierop neer dat we zelf geen eigen Google of Amazon hebben, dat succesvolle Vlaamse bedrijven vroeg of laat voor veel geld verkocht worden aan buitenlandse spelers (het verankeringsdebat van de jaren 90) of dat te veel slimme koppen zouden verdwijnen naar het buitenland (de 'brain-drain' uit de jaren 80, die nu wel is opgedroogd). We moeten ons natuurlijk wel internationaal positioneren in een mondiale kennismarkt, maar dat kunnen we doen door welbepaalde toepassingsniches uit te kiezen. Enkele voorbeelden: Een verregaande ondersteuning van de gezondheidzorg met AI en automatisatie (bijv. in intensive care, in kanker-diagnose, -therapiemonitoring, in thuisopvolging met draagbare sensoren, enz.). De verdere uitbouw van strategisch belangrijke 'smart grids' van water, gas, elektriciteit en communicatienetwerken. Doorgedreven intelligente automatisatie van de exploitatie van onze havens, de spoorweg- en intermodale verkeersnetwerken. Bewaken en verbeteren van de milieu- en leefomstandigheden (microklimaat, fijn stof, stikstofproblematiek, enz.), veiligheidstoepassingen, AI-

ondersteunde opsporings- en reddingoperaties, voorspellen en voorkomen van kritieke situaties bij massa-evenementen. Het verder ontsluiten van ons cultureel erfgoed met AI en 'digital humanities'. De verzameling van voorbeelden is onuitputtelijk.

Aanbeveling 4: De quadruple helix en opleidingen: In het kader van het innovatiebeleid slaat de quadruple helix op vraag van en aanbod door de verschillende stakeholders: kennisinstellingen, bedrijven, overheid en niet in het minst de burgers zelf. We moeten samen nadenken met welke instrumenten we een democratisch, op wetenschappelijke gronden gebaseerde, interactie tussen en besluitvorming met deze stakeholders beter kunnen organiseren. Veel misverstanden ontstaan door onvoldoende kennis van zaken, zelfs bij politici. Voor vele technologische gerelateerde uitdagingen leidt dit tot een *democratisch deficit*, waarbij enerzijds burgers eenzijdig worden geïnformeerd en anderzijds beleidsmakers (soms drastische) beslissingen nemen die onvoldoende wetenschappelijk onderbouwd zijn.

Er is een groot tekort aan AI-expertise. In opdracht van het Departement Economie, Wetenschap en Innovatie (EWI) van de Vlaamse overheid werd de AI-barometer geïnstalleerd[13], die de adoptie van AI bij Vlaamse bedrijven monitort. Hieruit blijkt dat slechts een kwart van de Vlaamse bedrijven AI-technologie inzet. De belangrijkste knelpunten zijn het gebrek aan kennis, vaardigheden en expertise binnen de onderneming, maar ook bij de rekrutering van werknemers. Een belangrijke hinderpaal is ook het onvermogen om het potentieel van AI en ook de 'return-on-investment' voor de bedrijfsactiviteiten, in te schatten.
Hoewel niet onbelangrijk, lijkt het regulatief kader, zoals mogelijke inbreuken op databescherming, onduidelijke juridische gevolgen (bijv. problemen van verantwoordelijkheid) of ethische overwegingen, een eerder beperkte rol te spelen bij de adoptie van AI.

Al deze knelpunten zijn duidelijk gerelateerd aan een tekort aan breed AI-opgeleiden op de arbeidsmarkt. Dit kwam ook al naar voor in een eerdere benchmark studie[14]. In Vlaanderen en Brussel staan er meer dan 1000 vacatures in AI open[15]. Alleen al de website van de VDAB geeft permanent meer dan 100 vacatures in AI weer[16]. Te weinig studenten met specialisatie AI studeren af aan de Vlaamse universiteiten. Met uitzondering van de MaNaMa AI aan de KU Leuven (meer dan 300 (internationale) afstudeerders per jaar), zijn AI-specialisaties zonder uitzondering ingebed in een opleiding Ingenieurs- of Computerwetenschappen en trekken ze vooral mannelijke studenten aan. Dit in tegenstelling tot Nederland, waar men toch een meer gender gebalanceerde verhouding ziet, wellicht ook omdat daar specifieke AI-bachelor als masteropleidingen worden aangeboden.

Ongetwijfeld zijn adequate opleidingen voor alle mogelijke doelgroepen essentieel. Hierbij is de notie van 'levenslang leren' (LLL) van vitaal belang. Immers, wetenschappelijke inzichten en technologische realisaties evolueren aan een razendsnel tempo, waardoor zelfs de grootste specialisten in ademnood komen. Een permanente en recurrente aandacht voor STEAM-opleidingen is noodzakelijk (STEAM = Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics, waarbij 'Arts' slaat op de menselijke en artistieke creativiteit). Niemand zal nog afstuderen met een diploma uitgereikt voor kennis die een carrière lang geldig blijft. We hebben geen eenmalige diploma's nodig, maar wel abonnementen om op tijd en stond bij te scholen. Maar daarvoor dient eerst een hele infrastructuur voor LLL te worden uitgerold.

Door de razendsnelle evoluties voelen vele mensen zich ook in hun beroepsontwikkeling bedreigd. De Oostenrijkse econoom Schumpeter had het in deze context over 'Creatieve Destructie': door nieuwe technologieën verdwijnen bepaalde jobs, of worden ze overbodig, maar worden er elders andere bij gecreëerd: de centrifugaal-regelaar van Watt maakte een einde aan een bepaalde vorm van kinderarbeid, namelijk kinderen die de stoomdruk visueel in het oog moesten houden en bijregelen door aan allerlei ventielen te draaien. Maar er ontstond wel een industrie van bedrijven die zich toelegden op regelaars. Manueel werken aan een lopende band werd gerobotiseerd, met een uitstoot van bandwerkers als gevolg. Maar de robotten moeten wel gefabriceerd worden. De arbeidsintensieve permanentie in een 'intensive care unit' kan op termijn geautomatiseerd worden. Het aantal loketbedienden in banken neemt zienderogen af. Maar de benodigde AI-software moet wel ontwikkeld worden. En zo zijn er

talloze voorbeelden. De beste garantie voor de 'getroffen' werknemers is de capaciteit tot aanleren van nieuwe kennis en vaardigheden via LLL.

Niet onbelangrijk voor de overheid is tenslotte is ook de vertegenwoordiging van Vlaanderen op het internationale politieke niveau, in Europa en wereldwijd. In het federale België leidt dit tot paradoxen, waarbij politiek Vlaanderen dient te worden vertegenwoordigd door de federale overheid, maar waarbij wetenschappelijk, technologisch en budgettair het innovatiebeleid zich afspeelt op het niveau van het Gewest en de Gemeenschap. Hiervoor zijn tot nader order nog onvoldoende goede afspraken gemaakt, hoewel het belang van bijv. het Europees niveau voor de regelgeving inzake AI, en ook voor wat betreft budgetten, alleen maar toeneemt.

Aanbeveling 5: Cui bono? Democratische, ethische en juridische deficits: Onder de vorige aanbeveling wezen we al op de uitdagingen die een *democratisch deficit* met zich meebrengt. Een adequate vorming en wetenschappelijk onderbouwde informatiedoorstroming naar regeringsleden en parlementairen is absoluut noodzakelijk. AI als systeemtechnologie zal immers een belangrijke impact hebben op de samenlevingsdimensies van veiligheid, levenskwaliteit en gezondheid, autonomie en vrijheid, individuele rechten versus de rechtstaat en rechtvaardigheid en inclusie.
Maar er zijn ook ethische en juridische deficits. *Ethische deficits* ontstaan in het zog van een razendsnel evoluerende dynamiek van wetenschap en technologie, waarbij de vraag niet langer is **hoe** we iets moeten oplossen, maar wel **welke keuzes** we moeten maken. Ethische vraagstukken die uit deze evoluties ontstaan zijn echter niet uniek aan AI, maar ontstaan in alle systeemtechnologieën (energieproductie en -consumptie versus klimaat; privacy en security in ICT; genetische modificatie van levende wezens). Bij AI-toepassingen bijv. is het de toenemende mate van automatisatie, en de daaruit voortvloeiende autonomie, die vele ethische vraagstukken opwerpt. In het geval van pure automatisatie zijn deze bedenkingen niet nieuw, en meer dan 60 jaar geleden werden er al geformuleerd[17] door Norbert Wiener, de vader van de cybernetica[18], een directe voorganger van AI. Een gedetailleerd analyse van alle ethische uitdagingen rond AI en automatisatie, en ook de problematiek van (gedeelde) verantwoordelijkheid, vindt men in het recente boek[19] (een absolute aanrader!).

Als systeemtechnologie zal AI ons nieuwe manieren leveren om te leren, te werken, te interageren, te ontspannen en te spelen. Het kan onze levens absoluut gemakkelijker en veiliger maken, maar er kunnen ook keerzijdes ontstaan. Wat te denken van AI-toepassingen waarbij met gezichtsherkenning verkeersovertreders automatische worden geïdentificeerd, waarna dan sancties kunnen volgen in de omgang met de overheid (bestraffing door verlies aan 'social credits', waardoor het bijv. onmogelijk wordt om leningen aan te gaan)? Er zijn ook al eerste publicaties waarbij bepaalde vormen van rechtspraak via AI zouden kunnen worden geïmplementeerd[20].

In de huidige internationale context, laat het zich raden dat er een geopolitieke AI- en Cybersecurity-wapenwedloop zit aan te komen, als die al niet in volledige ontwikkeling is. Ook dit is niet specifiek voor AI: in alle systeemtechnologieën leiden bijna alle vindingen en realisaties tot *dual use*, wat impliceert dat ze zowel militair als civiel kunnen worden aangewend (chemie en dynamiet, nucleaire energie en kernwapens, biologische wapens, cyber-attacks, enz.). Er is echt een breder maatschappelijk en parlementair debat nodig hoe een regio als Vlaanderen zich hierin moet opstellen, waarbij we wellicht onze te naïeve en goedgelovige instelling *("Daar doen wij niet aan mee!")* zullen moeten herdenken.

Ten slotte, op het gebied van regelgeving en afdwingbaarheid, ontstaan er door systeemtechnologieën soms *juridische deficits.* Dit zijn lacunes in de wetgeving waarbij 'wat niet verboden is, toegelaten moet zijn', en in sommige gevallen beroep moet worden gedaan op de rechtsspraak. Dat technologieën zoals AI mondiaal uitgerold worden is dan natuurlijk een bijkomende complicatie voor regionale en nationale wetgevers. Zaak is hier ook om een goed evenwicht te vinden tussen regulering enerzijds, en toch positieve toepassingen van AI te faciliteren anderzijds. De Europese Commissie levert intensieve inspanningen om 'Thrustworthy and Human Centered AI' te promoten en er is ook een heuse Europese AI Act in wording. Maar, met een boutade wordt wel eens gezegd dat de Verenigde Staten *innoveren,*

dat de Chinezen *kopiëren*, en dat de Europeanen *reguleren.* Wat dat laatste betreft wil Europa soms krampachtig de beste leerling van de klas zijn, waardoor een volledige uitrol van wat AI vermag, onmogelijk wordt gemaakt. Een voorbeeld is het delen van medische gegevens ('You share, we care'), wat omwille van o.a. GDPR, quasi onmogelijk is geworden. Nochtans hebben de meeste AI-systemen vele data nodig, omdat bijv. het trainen van een neuraal netwerk om een kankerdiagnose te stellen, altijd gebaseerd is op grote populaties. Tot overmaat van ramp spitst de meeste regelgeving zich toe op '*opting-i*n' keuzes, waarbij de (vaak niet voldoende geïnformeerde) burger vrijwillig moet kiezen voor het ter beschikking stellen van de eigen medische gegevens. Het gevolg is dat weinigen dit spontaan doen. Beter ware uit te gaan van een '*opting-out'* systeem, naar analogie met de wetten op orgaandonatie in België. Dat hierbij de persoonlijke privacy en anonimiteit absoluut moet gegarandeerd worden, is een '*no-brainer'*, waarvoor technisch trouwens adequate oplossingen bestaan.

Aanbeveling 6: Toekomstdenken: We zijn deze bijdrage begonnen met beschouwingen over intelligentie. Die hebben ons toegelaten belangrijke ingrediënten van AI-systemen te identificeren: leergedrag, minimalisatie van doelfuncties, automatisatie, autonomie, omgaan met complexiteit (bijv. high-throughput). We hebben ook beargumenteerd dat elke nieuwe systeemtechnologie voortbouwt op de realisaties van vorige, dat er een circulaire dynamiek en interactie is tussen wetenschap en technologie, en dat de verschillende systeemtechnologieën mekaar wederzijds bevruchten, zo niet compleet zullen convergeren. Niemand heeft een glazen bol, maar toch zijn er duidelijke trends te identificeren uit de evoluties van de laatste 300 jaar, die ons veel vertellen over onze huidige samenleving(en) en de toekomstige evoluties ervan (in de geest van het Wereldbeelden project[21]).
Het behoud van een vogelperspectief, met oog voor "*lessons learned, do's and don't's"* uit het verleden, een overzicht houden op alle ontwikkelingen van wetenschap en technologie nu en in de nabije toekomst, en de impact ervan op alle dimensies van de samenleving inschatten: dit zijn zeker uitdagingen die een Vlaamse Raad voor Toekomst-denken ter harte zou kunnen nemen.

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Biomimetics

[2] https://www-nature-com.kuleuven.e-bronnen.be/articles/d41586-022-02083-2

[3] https://www.amazon.com/Artificial-Intelligence-A-Modern-Approach-dp-0134610997/dp/0134610997/ref=dp_ob_title_bk

[4] https://play.google.com/store/books/details/Stuart_Russell_Human_Compatible?id=Gg-TDwAAQBAJ

[5] https://claire-ai.org/what-is-ai/#Def

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Automaton

[7] https://link.springer.com/article/10.1007/BF02478259

[8] https://en.wikipedia.org/wiki/Orchestrated_objective_reduction

[9] https://www.nytimes.com/2022/07/23/technology/google-engineer-artificial-intelligence.html

[10] https://www.wrr.nl

[11] https://www.wrr.nl/publicaties/rapporten/2021/11/11/opgave-ai-de-nieuwe-systeemtechnologie

[12] https://www.ewi-vlaanderen.be/onze-opdracht/excellerend-onderzoek/ai-voor-vlaanderen

[13] https://www.vlaio.be/nl/media/1959

[14] https://www.ewi-vlaanderen.be/nieuws/artificiele-intelligentie-en-cybersecurity-benchmark-studies

[15] https://www.computable.be/artikel/achtergrond/loopbaan/6660640/5594136/visterin-verdiept-duizend-vacatures-in-ai.html

[16] https://www.vdab.be/vindeenjob/vacatures?sort=standaard

[17] https://nissenbaum.tech.cornell.edu/papers/Wiener.pdf

[18] https://en.wikipedia.org/wiki/Cybernetics

[19] https://ai.kuleuven.be/news/lode-lauwaert-writes-new-book-wij-robots-een-filosofische-blik-op-technologie-en-artificiele-intelligentie-lanoo

[20] https://scholarship.law.columbia.edu/faculty_scholarship/2598/

[21] https://homes.esat.kuleuven.be/~bdmdotbe/bdmt/publications.php?p=worldviews