

Edge is the new Cloud

Opportunities en uitdagingen voor Vlaanderen

Februari 2023

Inhoudstafel

1	Introductie	2
1.1	Wereldwijde digitalisering & digitale transformatie	2
1.2	Vlaanderen als draaischijf voor de toekomst	3
2	Omgevingsanalyse	5
2.1	Technologische trends & doorbraken	5
2.1.1	De vooruitgang in rekenkracht van chips (Moore's Law)	5
2.1.2	De vooruitgang in internetconnectiviteit	6
2.2	Opportunities Edge Computing	8
2.2.1	Federated Learning	9
2.2.2	Meest efficiënte & optimale lokalisatie van rekenkracht	9
2.2.3	Voordelen verbonden aan Cloud Computing	11
2.2.4	Voordelen verbonden aan Edge Computing	11
2.3	Uitdagingen	18
2.3.1	Use cases	20
2.3.2	Overzicht voordelen use cases	31
3	Opportunities voor Vlaanderen	32
3.1.1	Europa	32
3.1.2	Vlaanderen	33
3.2	Vlaanderen <i>'in a perfect storm'</i>	33
3.2.1	Uniek Vlaams ecosysteem	34
3.2.2	Onderzoeks- & ontwikkelingsprogramma's Edge Computing in Vlaanderen	35
3.3	Uitdagingen voor Edge Computing in Vlaanderen	35
4	Scenario's voor Vlaanderen	39
4.1.1	Scenario 1: Vlaanderen temporeert	39
4.1.2	Scenario 2: Vlaanderen accelereert	39
4.1.3	Scenario 3: Vlaanderen excelleert	41
5	Conclusies	43
6	Bijlagen	45
6.1	Personen die input geleverd hebben voor deze visienota	45

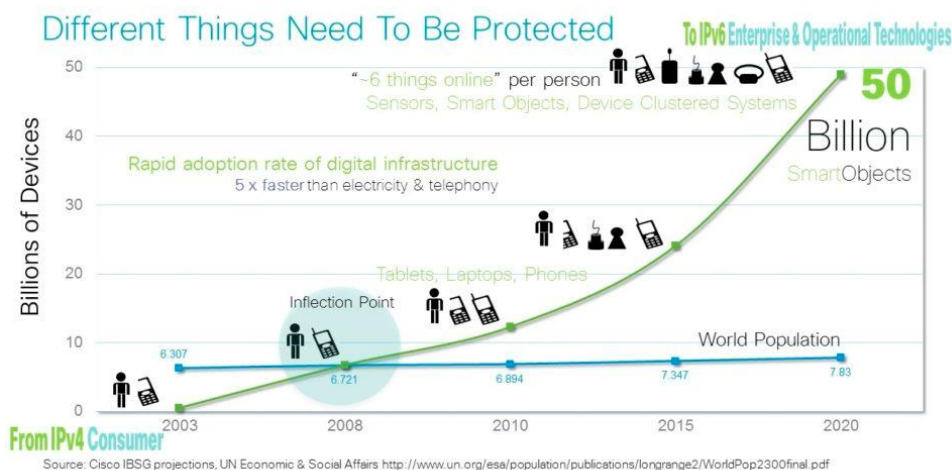
1 Introductie

1.1 Wereldwijde digitalisering & digitale transformatie

De wereld anno 2022 blijft aan ongeziene snelheid en intensiteit verder digitaliseren. Deze digitale transformatie raakt alle geledingen van de maatschappij, waarbij zowel het leven van burgers, als de interne werking, productie en dienstverlening van bedrijven en de overheid steeds meer via digitale technologieën gefaciliteerd wordt.

Computers kunnen reeds sinds 1969 verbinding met mekaar maken via ARPANet, de primitieve voorloper van het **internet**, maar het was pas in 1990 dat Sir. Tim Berners-Lee samen met de Belg Robert Cailliau het wereldwijde web in zijn huidige vorm ontwikkelde en populariseerde, vergezeld van een protocol (http) en een computertaal (html). De wereldbeker voetbal in Italië van 1990 werd het eerste event dat wereldwijd uitgezonden werd via het web. Rond 1994 ontstond ook de **internet economie**, waarbij de eerste internetbedrijven als Netscape, Amazon en Yahoo het levenslicht zagen en hun diensten en producten via **websites** aanboden aan hun klanten, vergezeld van **digitale processen** om de interactie met klantengroepen aan te gaan. Dit zorgde ervoor dat de computer eind de jaren '90 zijn intrede deed in woonkamers en bedrijvenkantoren, in overheids- en fabrieksgebouwen. Ook maakte het **2G-netwerk** haar intrede, wat tevens leidde tot de komst van de **eerste digitale mobiele telefoons**, op de markt gebracht door Nokia, Motorola en later Blackberry, die mailverkeer toelieten.

De digitale aspiraties van bedrijven groeiden sterk in het begin van de 21^{ste} eeuw, wat leidde tot de opkomst en **groei van technologiedepartementen** binnen bedrijven en het ontstaan van functies als 'Chief Information Officer' (CIO) en 'Enterprise Information Architect'. Eveneens groeide het besef binnen bedrijven dat hun bedrijfsmodel een **netwerkstructuur** omvat, die toelaat om interne afdelingen met klanten, leveranciers en overige partners te linken via digitale platformen. Deze toename aan dataverkeer via het internet legde de **noodzaak** bloot tot **extra online dataopslag en -verwerking**. Deze vereiste schaal werd gevonden via de **opkomst van massieve en robuuste cloudopslagsystemen** voor particulier en professioneel gebruik, eerst aangeboden door AT&T en later door onder meer Apple (iCloud), Amazon (Amazon Web Services), Dropbox en Google, die een nieuwe (r)evolutie mogelijk maken.



Na het samenbrengen van mensen en organisaties binnen digitale omgevingen, luidde het begin van de jaren 2010 de opkomst van het **Internet of Things (IoT)** in, waarbij nu ook voorwerpen geconnecteerd werden aan het internet. De initiële focus van de IoT-revolutie betrof het volgen en monitoren van activa ('asset tracking'), maar al snel werden steeds meer **fysieke voorwerpen** lid van de IoT-familie, waaronder bv. koelkasten, mobiele telefoons, medische voorwerpen zoals pacemakers, wearables, biochip transponders in vee, (vracht)wagens en stofzuigers. Ook in een **stedelijke context** blijkt de toepassing van

IoT een grote meerwaarde te bieden: een veelheid aan sensoren, slimme watermeters, ANPR- roodlicht- en bewakingscamera's en slimme vuilbakken geven beleidsmakers een voorheen ongeziene inkijk in de hartslag van de stad en leggen de basis voor het **Smart City** gedachtengoed.

Naast mensen, genereren nu ook voorwerpen een niet ophoudende stroom aan '**Big Data**', die zo veilig en efficiënt mogelijk ingezet dienen te worden. Hiervoor wenden particulieren, bedrijven en overheden zich *en masse* tot de **cloudopslagsystemen van een select aantal technologiebedrijven** die een voldoende **robuuste, efficiënte en vooral schaalbare Cloud Computing infrastructuur** kunnen waarborgen. In bedrijven wordt het opzetten en onderhouden van de Cloud infrastructuur de verantwoordelijkheid van de '**Cloud Architect**'.

De opkomst van IoT zorgt voor een **ongeziene toename in het globaal digitaal dataverkeer**. Zo registreren de duizenden luchtkwaliteitssensoren in onze steden bijvoorbeeld één meting per seconde, wat neerkomt op 126 miljard metingen op jaarbasis, wat het aantal financiële transacties op jaarbasis in Europa ver overstijgt. De **rekenkracht** die vereist is voor de opslag, verwerking, ordening en analyse van deze **massieve hoeveelheid aan ruwe data**, wordt massaal **uitbesteed** en toevertrouwd aan en **gecentraliseerd in extern beheerde datacenters**, die zich veelal in de Verenigde Staten of Azië bevinden. Het op **cloudopslag** gebaseerde systeem, dat een ongekennde hoeveelheid (waardevolle) data in handen van een beperkt aantal voornamelijk Amerikaanse en Chinese technologiespelers legt, heeft een aantal duidelijke voordelen, maar hoe langer hoe meer blijkt in de loop van de jaren 2010 dat dit systeem ook zijn **fundamentele tekortkomingen en limieten** kent (zie verder). De opkomst van nieuwe, veelal op persoonlijke data gebaseerde toepassingen en innovaties, leggen steeds meer de **noodzaak tot meer transparantie autonomie en privacy** voor burgers en bedrijven, een **snellere dataverwerking** en een op technisch vlak **meer open en inclusieve wijze van samenwerking** bloot. En dus wordt er wereldwijd – en binnen Europa - nagedacht over alternatieven voor de huidige manier van werken, die kunnen helpen om de **beperkingen en ongewenste effecten van Cloud Computing** te mitigeren.

Deze visiepaper wenst hiertoe bij te dragen door te wijzen op de opkomst van een **nieuwe cutting-edge computerfilosofie en -architectuur**, zijnde **Edge Computing**, die een oplossing biedt voor een aantal van de zwaktes inherent aan de huidige op Cloud Computing gebaseerde digitale wereld. Het **potentieel** van deze nieuwe technologie dient nog verder aangeboord en **ontwikkeld** te worden, waarbij **Europa** en vooral **Vlaanderen** uniek gepositioneerd zijn om een **voortrekkersrol** te vertolken en de lont aan het kruitvat van deze nieuwe digitale revolutie te steken.

1.2 Vlaanderen als draaischijf voor de toekomst

Overheden wereldwijd, met Europa voorop, trachten via wetgeving, gerichte initiatieven en andere oplossingen **grip te krijgen op de recent ontstane datamarkt** en de data van burgers, bedrijven en overheid te beschermen. Zo zet de **GDPR-wetgeving** in op de bescherming van persoonsgevoelige gegevens en creëren de **Data Act** en de **Data Governance Act** een **afsprakenkader** rond het gebruik en hergebruik van openbare en private data. Daarnaast wordt er vanuit de Europese Commissie eveneens ingezet op het vergroten van de **vindbaarheid en interoperabiliteit van data**, om datadeling in Europa te bevorderen en een meer rechtvaardig datalandschap en gelijk speelveld uit te bouwen.

Vlaanderen is één van de pioniers en trendsetters op vlak van **Data Tech**, zijnde de implementatie van de Europese wetgeving rond datagebruik. Via onder meer de creatie van een '**data intermediary**', zijnde het **Vlaamse Datanutsbedrijf**, zet Vlaanderen de stappen richting een **eengemaakte datamarkt**, waarbij **data** een **gestandaardiseerde nutsvoorziening** moet worden, zoals ook water en gas onafhankelijk van de leverancier onze huiskamer reeds binnenkomen of elektriciteit uit onze stopcontacten onze apparaten voedt. Daarnaast is de Vlaamse overheid bezig met de **ontwikkeling van datakluisen**, om de burgers en eigenaars van data de keuze te beheren met welke partijen ze hun data wensen te delen, op een transparante en veilige manier.

"Vlaanderen positioneert zich steeds meer als één van de grootste leiders rond 'Data Tech' in Europa. De data-gerelateerde initiatieven, ontwikkelingen en implementaties van Vlaanderen moeten worden beschouwd als zijnde extreem innovatief, cutting-edge en uniek in Europa."

Seth Van Hooland – Programmamanager, DG Digit, Europese Commissie

Vlaanderen heeft doorheen de geschiedenis meermaals een **voortrekkersrol** vertolkt, denk maar aan Vlaanderens Gouden Eeuw, aan de oprichting van de eerste aandelenbeurs ter wereld, of meer recent de trendsettersrol die Vlaanderen vertolkt in **gezondheidszorg en biotechnologie**. Vandaag heeft Vlaanderen een aantal **onmiskkenbare troeven** in de hand om **wereldwijde koploper** te worden **op vlak van 'Data Tech'**, mede dankzij het baanbrekend werk en onderzoek van Vlaamse KMO's, universiteiten en strategische onderzoekscentra (SOC's) zoals imec – wereldvermaard op vlak van nanotechnologie en chips – en de pioniersrol van de Vlaamse overheid op vlak van digitale transformatie, met de oprichting van het Datanutsbedrijf als belangrijkste realisatie. Dankzij de **hoge maturiteit** en **baanbrekende initiatieven** die binnen de Vlaamse regio uitgebouwd worden rond data, bevindt Vlaanderen zich momenteel in een **'perfecte storm'** en een **bevoorrechte positie** aan de vooravond van een **nieuwe paradigmashift** en bijhorende digitale omslag.

Om haar positie als leider inzake **data-gerelateerde innovatie** te bestendigen en ook kenbaar te maken aan de rest van de wereld, wordt in 2023 **'Flanders Technology & Innovation'** georganiseerd, een meerdaags technologiefestival met internationale allure dat de technologiewereld naar Vlaanderen brengt en tegelijk de ontwikkelingen en innovaties van Vlaamse bedrijven en kennisinstellingen wenst te tonen en op termijn te exporteren naar de rest van de wereld. Flanders Technology & Innovation biedt de ideale gelegenheid om vanuit Vlaanderen en onder meer via deze visienota, een **nieuw tijdperk binnen de globale digitale transformatie** in te luiden, een tijdperk waarin **transparantie, economische en sociale rechtvaardigheid, interoperabiliteit, open standaarden en openheid van systemen** (de)centraal zullen staan. Een tijdperk waarin **Edge Computing** een cruciale rol te vertolken heeft.

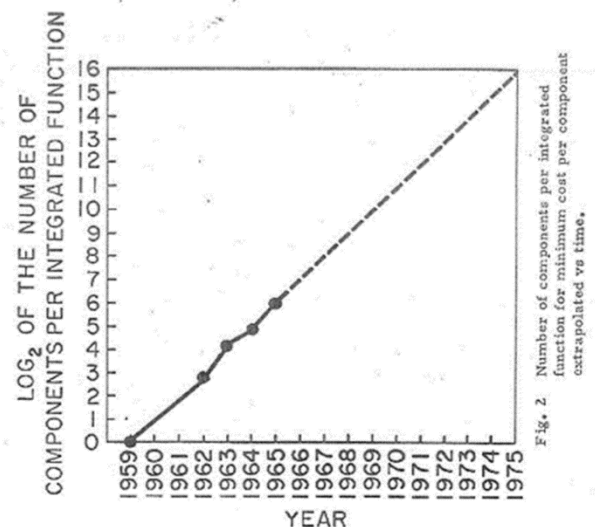
Doorheen de rest van deze visiepaper wordt er gestart met een mondiale omgevingsanalyse, waarin de limieten van het huidige op Cloud Computing steunende systeem én de belofte die Edge Computing meebrengt, geschetst worden. Vervolgens wordt er ingezoomd op de opportuniteiten die Edge Computing inhoudt voor Vlaanderen, waarna enkele concrete vereisten en toekomstscenario's beschreven worden om Edge Computing verder te helpen ontwikkelen, een succes te maken in Vlaanderen en te exporteren naar de rest van de wereld.

2 Omgevingsanalyse

2.1 Technologische trends & doorbraken

2.1.1 De vooruitgang in rekenkracht van chips (Moore's Law)

Computerchips zijn tegelijk één van de mens' meest complexe maar ook meest disruptieve creaties die via massaproductie ontwikkeld worden. De **snelle toename van de rekenkracht** van computerchips begon reeds in het midden van de vorige eeuw, waarbij Gordon Moore – co-founder van chip- en softwarebedrijf Intel – in 1965 zowel vaststelde als voorspelde dat de rekenkracht van chips **exponentieel** en volgens een vast tempo zou toenemen. In een artikel genaamd "**Cramming More Components onto Integrated Circuits**" (1965) uit Electronics Magazine, stelde Moore vast dat het aantal transistors¹ op een chip om de 2 jaar zou verdubbelen, wat dus enerzijds zorgde voor een **exponentiële toename van de rekenkracht en performantie** van een chip en anderzijds ook resulteerde in een **exponentiële daling van de kostprijs** per chip én de **grootte van chips**. Deze voorspelling, beter bekend als "Moore's Law", houdt stand tot op vandaag en vormde de afgelopen decennia dé *driving force* en maatstaf voor de computerprocessor industrie, waarbij computeringenieurs en -verkopers jaar na jaar streefden om de beoogde verbetering in rekenkracht te behalen en zelfs te overtreffen. Het is de reden waarom onze smartphone vandaag veel krachtiger én tegelijk kleiner en goedkoper is dan de vorige generaties supercomputers. Deze **toename in rekenkracht** ligt mee aan de basis van de **digitale revolutie** waarin we ons anno 2022 bevinden.

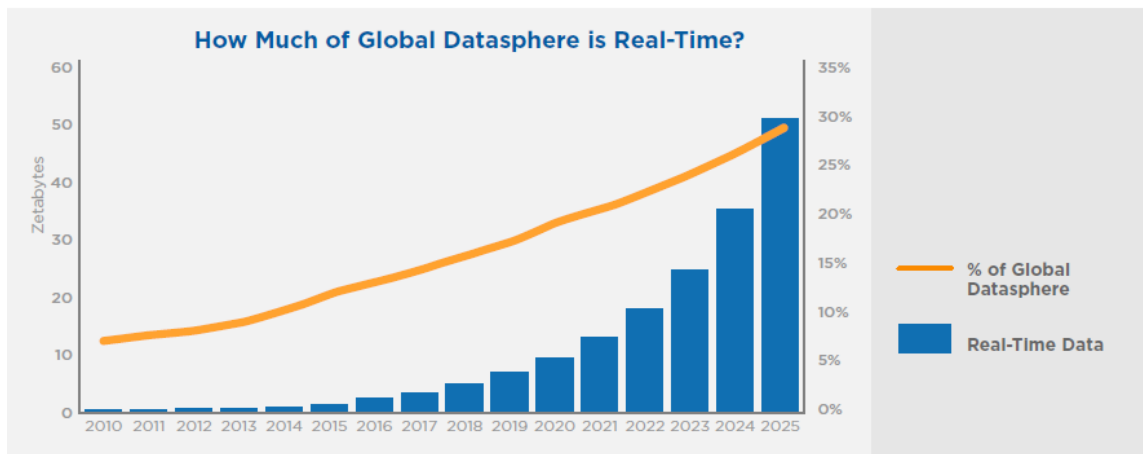


Deze vooruitgang in rekenkracht heeft geleid tot de **opkomst van steeds kleinere voorwerpen** die geconnecteerd kunnen worden met het internet, oftewel het **Internet of Things**. Echter, stuiten Moore's Law en de steeds kleinere, goedkopere maar vooral krachtigere chips stilaan ook op hun **fysieke limieten**². Experts geven namelijk aan dat de verbetering van computerchips haar eindpunt ergens eind de jaren 2020 zou bereiken, omdat transistors niet meer zouden kunnen functioneren in chips die slechts enkele nanometers groot zijn. Het koelen van de transistor in dergelijke minuscule chip zou namelijk meer energie verbruiken dan de energie die door de transistor kan vloeien. Daarnaast genereren de **computers, smartphones, wearables** en **slimme geconnecteerde toestellen** van vandaag een **eindeloze hoeveelheid aan data**. Apple's iPad werd gelanceerd in 2010, hetzelfde jaar dat Instagram en de Azure Cloud service van Microsoft het levenslicht zagen. 2011 introduceerde Snapchat en Uber en in 2013 lanceerde Amazon haar Alexa. Het **globale dataverkeer** op sociale media groeide in sneltempo aan, vanaf 2020 nog verder versterkt door de globale Covid-19 pandemie. Daarnaast, groeit ook het **aandeel van real-time data** binnen de globale dataproductie en -opslag (zie onderstaande figuur).

¹ De transistor is een elektronische schakelaar (halfgeleidercomponent) die elektriciteit kan doorlaten of tegenhouden. Transistors zitten in alle digitale apparaten en ze vormen het fundament van moderne computers en smartphones.

² University of Arizona, Department of Physics. "Quantum Error Correction Codes," Page 1

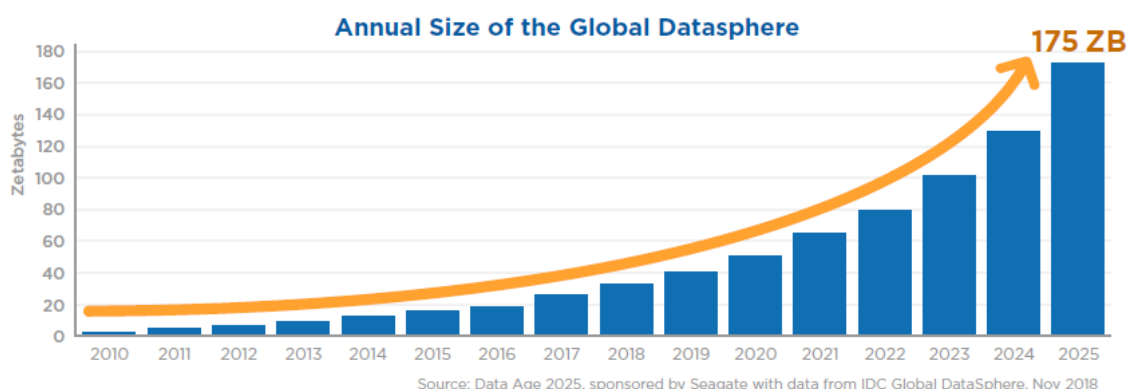
Figure 8 - Real-Time Data



Source: Data Age 2025, sponsored by Seagate with data from IDC Global DataSphere, Nov 2018

Al deze tendensen hebben geleid tot een verdere **explosie en accumulatie van 'Big Data'**, waarvan verwacht wordt dat deze groei aan data de komende jaren niet zal stilvallen, integendeel. Technologische ontwikkelingen zoals **IoT, 5G, Artificiële Intelligentie, Machine Learning** en de opkomst van toepassingen als **autonome wagens** zorgen voor een **verdere proliferatie van het globale dataverkeer**. Zoals op de onderstaande figuur weergegeven wordt, bedroeg de wereldwijde dataproductie in 2010 nog slechts 2 zettabytes, in 2019 bedroeg deze reeds 41 zettabytes en er wordt verwacht dat de wereldwijde dataproductie tegen 2025 zal oplopen tot 175 zettabytes³.

Figure 1 - Annual Size of the Global Datasphere



Source: Data Age 2025, sponsored by Seagate with data from IDC Global DataSphere, Nov 2018

2.1.2 De vooruitgang in internetconnectiviteit

Naast de vooruitgang in rekenkracht op steeds kleiner wordende toestellen, werd er het afgelopen decennium eveneens **significante vooruitgang** geboekt op vlak van **internetconnectiviteit**. Hierbij was de intrede van **breedband internet** begin de jaren 2000 een belangrijke factor, waartoe meer dan de helft van de wereldwijde internetgebruikers toegang hadden in 2007. Breedband laat een **breder volume aan datadoorstroom** toe, aan **hogere snelheden** dan voorheen. Daarenboven, blijft breedbandinternet altijd aan staan, in tegenstelling tot de 'inbelverbinding' van eind de jaren '90. De komst van **draadloos internet** vanaf begin de jaren 2000 gaf een nieuwe impuls aan de wereldwijde connectiviteit, doordat voorwerpen nu niet meer aangesloten dienen te worden via Ethernetkabels, maar draadloos kunnen connecteren met een **router**. Smartphones konden al snel geconnecteerd worden met **WiFi-verbindingen**, maar het was pas met de komst van **3G** dat mobiel internet echt een realiteit werd, met down- en uploadsnelheden van 200 kb/s. Vanaf 2010 werd het **mobiel internet zoals we het vandaag kennen** een feit met de komst van **4G**, wat snelheden van 15 mb/s toeliet en een hele range aan nieuwe applicaties en toepassingen mogelijk maakte. De opkomst van 5G toont echter aan dat de nood aan (nog) snellere en kortere verwerkingstijden nog steeds bestaat. Naast het realiseren van (nog) sterkere verbindingen lijkt vooral het lokaal verwerken van de data hier soelaas te kunnen bieden.

³ <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>

Naast de exponentiële toename in **performantie van chips** (in steeds kleinere computers en toestellen) en de **exponentiële toename van het aantal** van dergelijke **toestellen**, betekende de **toename in connectiviteit** een extra impuls voor technologieën als IoT, AI en Machine Learning, simpelweg omdat deze verbeterde internetconnectiviteit toeliet om **meer data aan hogere snelheden te versturen** dan voorheen. Deze massieve **toename in het globaal dataverkeer**, legde de noodzaak aan een **veilige, schaalbare en robuuste computerarchitectuur en -infrastructuur** bloot, die geschikt is voor het **verwerken en opslaan** van deze grote hoeveelheden data. Zo beslisten bedrijven en burgers om het beheer en de opslag van hun databronnen toe te vertrouwen aan de **Cloud infrastructuur** die aangeboden werd door een handvol **technologiespelers** (zijnde Google, Amazon, Meta / Facebook, Microsoft en Apple, hierna 'GAMMAS' genaamd). **Cloud Computing** werd zo op korte tijd de **gangbare computerfilosofie en architectuur**, waarbij de data die elke persoon, bedrijf of voorwerp genereert, doorgestuurd en gecentraliseerd wordt binnen de Cloud-systemen van de genoemde technologiespelers. **Databeheer en -opslag** werd dus op massieve schaal **uitbesteed**, wat ook aanleiding gaf tot de uitbouw van **gigantische datacenters**, waarin een **ongeziene hoeveelheid reken- en verwerkingskracht** gebundeld werd. Deze rekenkracht werd niet alleen ingezet voor de verwerking en opslag van enorme hoeveelheden data, maar tevens om **buitengewoon krachtige algoritmes** te trainen op basis van de verkregen data en zo via ontzaglijk sterke **Artificiële Intelligentie-modellen** tot nieuwe inzichten te komen, die deze technologieleveranciers vervolgens vertalen in nieuwe innovatieve diensten en producten.

In tegenstelling tot chips, groeit de kracht van de netwerkinfrastructuur echter niet volgens dezelfde exponentiële snelheid. De uitbouw en uitrol van netwerkinfrastructuur wordt namelijk belemmerd door andere wetten dan Moore's Law: zijnde praktische belemmeringen en de regelgeving, die ervoor zorgen dat we **nooit genoeg netwerkconnectiviteit** bezitten, zoals bv. de rijvakken op de autoweg tijdens spitsuur. De bedrijven verantwoordelijk voor het aanleggen van fibernetwerken in de stad, of het bouwen van een nieuwe telefoonmast, kunnen onmogelijk de capaciteit van hun infrastructuur verdubbelen op 2 jaar tijd: **netwerkconnectiviteit volgt Moore's Law dus niet**. En laat dit nu net één van de grote bottlenecks zijn die een verdere technologische expansie in de weg staat.

Connectiviteit is (nog) niet alomtegenwoordig en dus blijkt het **doorsturen van grote hoeveelheden data naar een centraal datacenter** (zijnde de hoofdpremise van Cloud Computing) in specifieke use cases vaak **traag, inefficiënt** en bovendien ook **onveilig** en gezien het grote energieverbruik dat gepaard gaat met dit immens dataverkeer, ook **schadelijk voor het milieu** te zijn. De laatste jaren werd de inefficiëntie en onlogica van dergelijke data-centralisatie op gigantische schaal steeds meer bloot gelegd. Doordat er – door toedoen van Moore's Law – ook steeds meer rekenkracht ingebouwd kan worden in de toestellen zelf, wordt het stilaan **mogelijk en logisch** om (een deel van de) **dataverwerking decentraal te organiseren**. Stap voor stap, ontstaat het (wereldwijde) bewustzijn dat de **op Cloud Computing gebaseerde manier van digitaal werken** grondig herdacht dient te worden, omwille van uiteenlopende technische én maatschappelijke redenen.

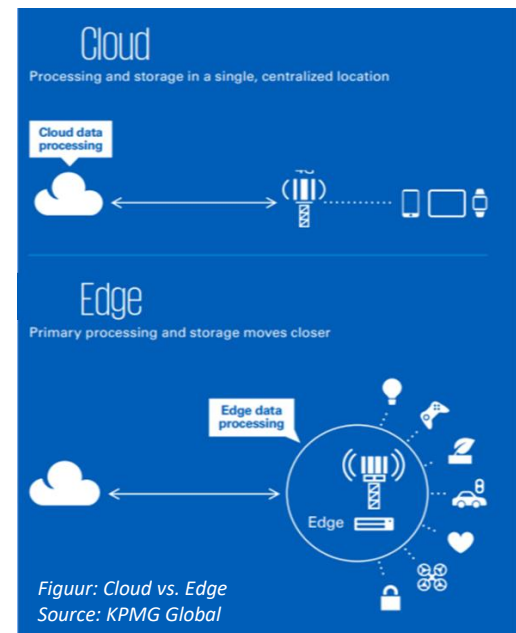
2.2 Opportuiniteten Edge Computing

Alvorens de voordelen van Edge Computing te kunnen bespreken dient eerst duidelijk gesteld te worden wat Edge Computing nu precies is. Eenvoudig gesteld is **Edge Computing** een nieuwe computerfilosofie en -architectuur die de **verwerking** van gecapteerde data **dichterbij** (of zelfs op) de **toestellen, toepassingen, tools** en **gebruikers** plaatst die de data **genereren, hanteren** en ermee **interageren**⁴. Er wordt ook wel eens gesproken van een specifieke vorm van **gedistribueerde computing**. Edge Computing maakt deel uit van een **gedistribueerde computerfilosofie** waarin (een deel van) de **informatieverwerking** zich **zo dicht mogelijk bij de fysieke locatie** bevindt waar de data en bijhorende metadata gegenereerd wordt, zijnde een retailwinkel, een fabriek, een magazijn of een Smart City. De idee hierachter is dat het **efficiënter** is om de rekenkracht te bundelen waar ze het meest nodig zijn, namelijk zo dicht mogelijk bij de bron / gebruiker.

Naar deze plaatsing zo dicht mogelijk bij de gebruikers en toestellen wordt ook wel eens verwezen als 'aan de rand' of '**at the edge**'. Bij Cloud Computing wordt alles centraal verzameld in datacenters, waarbij vaak de term '**core**' gehanteerd wordt.

Het 'zo dicht mogelijk bij de rand' plaatsen is de semantische / theoretische vertaalslag van Edge Computing. De **praktische vertaalslag** omvat eerder het gegeven dat de volledige centralisatie van data(verwerking) in bepaalde gevallen niet de meest **optimale aanpak** is (cf. supra) en dat afhankelijk van de situatie het wenselijk kan zijn om de data dicht bij de fysieke locatie te verwerken. Dit wordt ook wel het **lokaliteitsprincipe** genoemd, waarbij nagedacht wordt over de optimale locatie van de rekenkracht i.f.v. het **vermijden of minimaliseren van inefficiënties**. De centrale vraag hierbij is dan '**hoe dicht**'?

- Zo hebben onderzoekers van de KU Leuven een systeem ontwikkeld waarbij AI op basis van hersengolven kan bepalen op welk omgevingsgeluid een persoon met een hoorprobleem precies wil focussen⁵. Concreet wordt nu verder onderzocht hoe AI geïntegreerd kan worden in hoorapparaten. Dit is een voorbeeld van wat ook wel **extreem Edge Computing** genoemd wordt, waarbij het zo dicht mogelijk plaatsen letterlijk genomen kan worden. Het toestel, in dit geval het hoorapparaat, wordt dan ook wel eens gelabeld als een **Edge toestel** omwille van de computing die aanwezig is op het apparaat zelf. Één van de meest extreme gevallen van een Edge applicatie is hoogstwaarschijnlijk 'de computerpil' waarbij AI in de pil verwerkt zit die een patiënt inslikt⁶.
- Een minder extreme vorm van Edge Computing is bv. **mobile Edge Computing**, ook gekend als **multi-access Edge Computing (MEC)**, waarbij het mogelijk gemaakt wordt dat de dataverwerking plaatsvindt in basisstations, centrale kantoren en andere **verwerkingsknooppunten** op het netwerk, onder de vorm van (**individuele**) **lokale servers**⁷. Denk hierbij bv. aan een fabriek waarin een grote hoeveelheid aan industriële machines staan die allemaal gebruik maken van sensoren, ML en AI om optimaal te functioneren en data over hun werking te capteren. De gegenereerde data wordt via de Cloud-infrastructuur van de fabrikant verstuurd, centraal verwerkt en opgeslagen in datacenters die zich vaak buiten de landsgrenzen bevinden. Daarenboven zal de fabrikant vaak huur betalen / een abonnement moeten aanschaffen bij één van de beperkte aanbieders voor het opzet / gebruik van de Cloud-infrastructuur. De toepassing van mobile Edge Computing zou in deze betekenen dat de eigenaar van de fabriek op zijn terrein en aan zijn infrastructuur een lokaal verwerkingsknooppunt zou installeren waarbij de data dus verwerkt en opgeslagen wordt op een aantal lokale servers. Op deze manier creëert de fabrikant een zogenaamde '**Edge Cloud**'. Deze Edge Cloud kan dan vervolgens in verbinding gesteld worden met de 'Core Cloud', de Cloud van de fabrikant (zie ook de figuur Cloud vs. Edge), om de resultaten van



⁴ 2021 Strategic Roadmap for Edge Computing – Gartner (2020)

⁵ Fast EEG-based decoding of the directional focus of auditory attention using common spatial patterns – IEEE Transactions on Biomedical Engineering (2021) <https://ieeexplore.ieee.org/document/9238421>

⁶ The pill robot is coming – Bloomberg <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-08-04/the-pill-robot-is-coming>

⁷ <https://stlpartners.com/articles/edge-computing/mobile-edge-computing/>

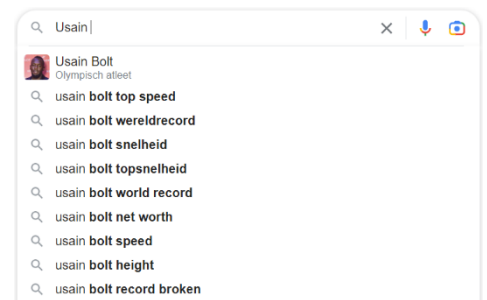
het **rekenwerk 'at the edge'** door te sturen naar een centraal datacenter voor verdere review en verwerking. De voornaamste reden voor het in verbinding stellen van de Edge Cloud met de core Cloud is het principe van '**Federated Learning**' (zie hieronder). Het moge duidelijk zijn dat in dit voorbeeld de data(verwerking) eveneens dicht bij de gebruikers en toepassingen geplaatst wordt, maar dat er een wezenlijk verschil bestaat (in fysieke) afstand met de computing in een hoorapparaat of een computerpil.

2.2.1 Federated Learning

De grote meerwaarde van Edge Computing op de gebruiksapparaten, houdt dus in dat er reeds een initiële verwerking van de data op het toestel zelf gebeurt. Voor heel wat toepassingen, zoals bv. spraakherkenning, is heel veel data vereist van eindgebruikers die ze liever niet delen. Door de initiële verwerking kan ruwe of gevoelige data reeds geanonimiseerd, gestructureerd of geaggregeerd worden waarbij enkel **overkoepelende of gegeneraliseerde inzichten** gedeeld en gearchiveerd worden. Dit concept wordt ook wel '**Federated Learning**' genoemd, een recent ontwikkelde methodiek om AI-modellen te trainen over gedistribueerde data. Het centrale AI model draait nog steeds in de centrale datacenters, maar wordt enkel nog **gevoed en getraind** op basis van de **relevante inzichten en geleerde lessen** vanop de Edge toestellen en niet (meer) met ruwe gecentraliseerde data.

Een andere belangrijke technologische doorbraak hierbij is **TinyML**, een techniek die **kleinere en meer geoptimaliseerde** Machine Learning algoritmes integreert die in staat zijn om analyses op het toestel uit te voeren. Tiny ML kan worden geïmplementeerd in energiezuinige systemen zoals sensoren of microcontrollers. De relevante inzichten en geleerde lessen worden naar het centrale AI-model doorgestuurd, zodat dit model verder getraind kan worden. De nieuwe lessen die het centrale AI-model genereert, worden op hun beurt (periodiek) terug verstuurd naar de algoritmes op de toestellen onder de vorm van **updates**. Deze (periodieke) updates van de lokale algoritmes vereisen een robuuste **connectiviteit**. De uitrol van **5G** vormt dan ook een belangrijke *enabler*.

Zo wordt de methodiek van Federated Learning reeds toegepast op **Google's zoekmachine**: bij het intikken van een woord of zin, worden er reeds suggesties gegeven van mogelijke volgende woorden. Deze suggesties zijn niet gebaseerd op de analyse van individuele gesprekken of zoekopdrachten – wat heel privacy-invasief zou zijn – maar wel op een enorme hoeveelheid aan geaggregeerde inzichten waarbij het algoritme woorden die vaak samen gebruikt worden aan elkaar zal koppelen (bv. Usain Bolt en wereldrecord).



2.2.2 Meest efficiënte & optimale lokalisatie van rekenkracht

Er kan vastgesteld worden dat de evolutie van computing eigenlijk een **slingerbeweging** volgt. Bij het ontstaan van (**traditionele**) **computing** gebeurde in de feiten alles '*at the edge*', namelijk op die ene computer die in het laboratorium, op de werkplaats of thuis stond. Nadien is via de opkomst van Cloud Computing de slinger omgeslagen richting een zo maximaal mogelijke **centralisatie**. Vandaag de dag komt er stelselmatig een tegenbeweging op gang die stelt dat de computing / rekenkracht zo slim en efficiënt mogelijk dient gelokaliseerd te worden. Deze meest **optimale locatie** zal variëren van **sector tot sector** en van **use case tot use case** (zie ook de verschillende use cases die doorheen deze nota beschreven worden). Wat betreft de locatiemogelijkheden is er langs de ene kant van het spectrum '**extreem Edge Computing**' wat dataverwerking zo ver mogelijk van de Cloud en zo dicht mogelijk bij de gebruiker inhoudt. Langs de andere kant van het spectrum is er **Cloud Computing** waarbij de data rechtstreeks van de gebruiker / toepassing / toestel naar het datacenter verstuurd wordt voor verwerking en analyse. Daartussen zijn er dan verschillende **gradaties** van Edge Computing, waarbij de afstand tussen de Cloud en de gebruiker / toepassing stelselmatig kleiner gemaakt wordt. Welke vorm van computing aangewezen is om te hanteren, zal afhankelijk zijn van use case tot use case en beïnvloed worden door diverse parameters. In de toekomst zal het waarschijnlijk zijn dat er voor bepaalde toepassingen een combinatie van meerdere vormen van computing noodzakelijk zal zijn om tot een optimaal resultaat te komen. De **kracht van de combinatie van Edge & Cloud Computing** wordt geïllustreerd in onderstaande use case.

GECONNECTEERDE / ZELFRIJDENDE AUTO'S

De geconnecteerde / zelfrijdende auto is een uitstekend voorbeeld omdat het de zoektocht schetst naar de optimale locatie(s) van rekenkracht, wat Edge Computing typeert. Zo bevindt er zich rekenkracht in **de wagen** zelf. Deze dient zich te bewegen zonder in contact te komen met de weginfrastructuur en of een aanrijding te veroorzaken. Hiervoor wordt de wagen uitgerust met een hele resem aan **sensoren** en **camera's** die de directe omgeving van de wagen scannen. Deze beelden worden door AI in de wagen zelf geanalyseerd en in het geval er een obstakel herkend wordt, reageert de wagen gepast door te remmen, het obstakel te ontwijken, enz. Deze analyses vergen heel wat datacaptatie en -verwerking die door **ingebouwde rekenkracht** in de wagen uitgevoerd dient te worden. De dataverwerking in de wagen zelf is noodzakelijk omdat het gebruik maken van Cloud Computing een te lage reactiesnelheid – en dus verhoogde kans op ongevallen – zou betekenen.



De sensoren op de wagen – hoe state of the art ze ook zijn – stellen de wagen niet in staat om te capteren of er bv. om de hoek van de straat een andere wagen in aantocht is en/of wanneer een bepaalde straat of tunnel afgesloten is. Dit maakt dat de wagen ook dient te communiceren met de **bredere omgeving**, denk hierbij bv. aan de weginfrastructuur (i.e. Smart road infrastructure) en andere met slimme technologie uitgerust wagens. In Vlaanderen wordt hier rond intensief onderzoek verricht. Transport & Mobility Leuven werkt rond Coöperatieve Intelligente Transportsystemen (C-ITS-diensten)⁸ en in 2018 zag het project 'Flanders Smart Highway' het levenslicht met als eerste tastbare resultaat een unieke testinfrastructuur langs de E313 in Antwerpen.

EDGE ADVANTAGE

Via **Mobile Edge Computing (MEC)** kunnen langs de weginfrastructuur Edge Clouds geplaatst worden die verbinden met alle voertuigen en weginfrastructuur binnen een bepaalde perimeter en de informatiedoorstroming voorzien. Door de voertuigen te laten interfaceren met nabijgelegen lokale verwerkingspunten worden de voertuigen in real-time attent gemaakt op hun omgeving⁹. Tot slot zal de geconnecteerde / zelfrijdende auto ook verbinden met de **core Cloud / datacenter** om extra inzichten te genereren over alle wagens en tussenstations heen, bv. om een overzicht te behouden van de locatie van de poule bedrijfswagens of om diepgaande analyses uit te voeren op de foutmeldingen die de wagens genereren en hier lessen uit te trekken.

Het samenspel van **dataverwerking op verschillende niveaus** is essentieel om het volledige potentieel van geconnecteerde / zelfrijdende auto's te benutten en om de doelstelling van het Vlaamse Mobilidata-programma, zijnde geen enkele verkeersdode in Vlaanderen tegen 2050, te realiseren. De sensoren in de wagen schieten namelijk tekort, waardoor er nood is aan data-uitwisseling met andere wagens en met de omliggende weginfrastructuur. Om deze tot de verbeelding sprekende use case op termijn een realiteit te maken, dient er dus voldoende rekenkracht op verschillende locaties aanwezig te zijn, waarbij de fysieke afstand tussen deze locaties best zo beperkt mogelijk gehouden dient te worden, om zo de '**reactiesnelheid**' en **betrouwbaarheid** voldoende hoog te houden.

Het verplaatsen van reken- en verwerkingskracht (cf. computing / processing) en (data)opslag dicht bij de gebruikers, tools en applicaties - die in sommige gevallen zowel de bron als de gebruiker van de data zijn, kan zo compenseren voor (een aantal van) de hierboven beschreven issues met o.a. Cloud Computing. Zo vergroot en verruimt Edge Computing de mogelijkheden van het huidige, hoofdzakelijk gecentraliseerde, 'hyperscale' cloudmodel en **ondersteunt** het de **systematische evolutie** en **invoering** van **IoT-toestellen** en geheel nieuwe soorten toepassingen¹⁰ (cf. de verschillende use cases die doorheen deze nota gepresenteerd worden).

⁸ <https://www.tmleuven.be/nl/project/cits>

⁹ <https://stlpartners.com/articles/edge-computing/mobile-edge-computing/>

¹⁰ 2021 Strategic Roadmap for Edge Computing – Gartner (2020)

2.2.3 Voordelen verbonden aan Cloud Computing

Vooraleer dieper in te gaan op de diverse voordelen verbonden aan Edge Computing, dient er eerst nog ingezoomd te worden op een aantal voordelen verbonden aan Cloud Computing. De **shift richting Cloud Computing**, die begin de jaren 2000 ingezet werd en nog sterk versneld werd gedurende het afgelopen decennium, is er niet zomaar gekomen. Cloud Computing kent een aantal **duidelijke voordelen** die de intrede ervan versneld hebben, zijnde:

- **Flexibiliteit & schaalbaarheid:**
 - De mogelijkheid om eenvoudig **grotere hoeveelheden (ruwe) data** toe te voegen, te verwerken en op te slaan, zonder dat de kosten evenredig toenemen;
- **Efficiëntie:**
 - **Centralisatie** van data zorgt ervoor dat alle data op één plaats opgeslagen wordt, wat ook een **eenvoudige verwerking en data-analyse** toelaat;
- **Gebruiksgemak:**
 - **Eenvoudige implementatie**, zonder complexe backend techniciteit. Hierbij komt tevens dat er een **breed aanbod aan marktspelers** bestaat die Cloudopslag aanbieden, waardoor prijzen competitief zijn;
 - De mogelijkheid om **toegang** te krijgen **tot de data**, onafhankelijk van plaats en tijd (in het geval van de aanwezigheid van een voldoende sterke connectiviteit);
 - Het vermijden van de aanleg van **fysieke opslagcapaciteit of hardware**, gezien de opslag en het beheer van de data geoutsourcet wordt.

Het gecentraliseerd opslaan en toegang krijgen tot data via het internet blijkt dus **gebruiksvriendelijk, flexibel, efficiënt** en biedt tevens onmiskenbare **schaalvoordelen**, naarmate de hoeveelheid data toeneemt. Daarbovenop, bezaten de slimme toestellen anno 2010 nog niet dezelfde performantie en hoeveelheid rekenkracht als de toestellen van vandaag, waardoor **Cloudarchitectuur noodzakelijk** bleek om de gegenereerde ruwe data te herbergen en te verwerken.

2.2.4 Voordelen verbonden aan Edge Computing

Onder meer ten gevolge van de verdere **ontwikkeling van IoT** en de verdere aangroei van met het internet **geconnecteerde toestellen** echter, kwamen gaandeweg **verscheidene nadelen en beperkingen** van Cloud Computing aan de oppervlakte, waarop Edge Computing een antwoord kan bieden. De voordelen en opportuniteiten verbonden aan Edge Computing kunnen dus niet los gezien worden van de verschillende zwaktes en tekortkomingen van het op Cloud Computing gebaseerde paradigma.

2.2.4.1 Technische voordelen:

- **Reactiesnelheid:**
 - **Zwakke Cloud Computing:** Inherent aan de filosofie van Cloud Computing, is het feit dat data van het (Edge) toestel heen en weer gestuurd dient te worden naar verafgelegen datacenters. Voor bepaalde innovatieve toepassingen, zoals zelfrijdende wagens of kritieke gezondheidssituaties, dient er vanuit risico-oogpunt echter een zo **minimaal mogelijke dataverwerkingstijd (latency)** nagestreefd te worden. Vandaar schiet de gecentraliseerde dataverwerking die Cloud Computing impliceert te kort voor nieuwe toepassingen die een zo **snel mogelijke reactiesnelheid** (en dus een zo kort mogelijke dataverwerkingstijd) behoeven. De **tijd tussen data en inzichten** dient dus zo minimaal mogelijk gemaakt te worden.

- **Meerwaarde Edge Computing:** De vereiste van een voldoende **snelle reactiesnelheid** is vaak één van de drivers om verwerkings- en rekenkracht zo dicht mogelijk bij de eindgebruiker te plaatsen. Doordat gebruiker(s) / tool(s) / applicatie(s) gegenereerde data niet over en weer naar de Core Cloud sturen om verwerkt en geanalyseerd te worden, kan er (kostbare) tijd gewonnen worden. Deze scherpe reactiesnelheid blijkt essentieel voor specifieke toepassingen of applicaties die een zo beperkt mogelijke verwerkingstijd behoeven bv. een pacemaker of het reeds aangehaalde voorbeeld van zelfrijdende auto's.

“Binnen verschillende nieuwe toepassingen & innovaties, vormt de reactiesnelheid of de *latency* een cruciaal element”

Steven Latré – Lead A.I. & R&D bij Imec

- **Bandbreedte:**

- **Zwakke Cloud Computing:** De bandbreedte is de **hoeveelheid data** die een netwerk over tijd kan versturen en wordt typisch uitgedrukt in bits per seconde. Elk netwerk heeft een beperkte bandbreedte, waarbij de beperkingen bij draadloze verbindingen het grootst zijn. Elk netwerk heeft dus een **bandbreedtelimiet**, zijnde de maximale hoeveelheid data (of toestellen) die via het netwerk kunnen communiceren. Cloud Computing, het traditionele computerparadigma, gebaseerd op een gecentraliseerd datacenter en een standaard internetverbinding, is **niet geschikt** om eindeloos groeiende hoeveelheden ruwe data te verwerken en te stockeren.
- **Meerwaarde Edge Computing:** De vereiste **bandbreedte** kan via Edge Computing (significant) gereduceerd worden omdat deze computerfilosofie – via het principe van Federated Learning - toelaat om **reeds gefilterde en verwerkte data** door te sturen i.p.v. de ruwe brondata. Doordat er reeds een eerste dataverwerking op het apparaat / ‘on the edge’ gebeurt, dienen er enkel de resultaten van de initiële analyses als relevante inzichten doorgestuurd te worden, waardoor er dus (veel) minder bandbreedte vereist is.

“Technologische evolutie botst uiteindelijk ook op grenzen. De snelheid van het dataverkeer kan niet eindeloos vergroot worden. Het verkleinen van de afstand vormt een logisch alternatief.”

Ellie D'Hondt, Digital health expert - Imec

- **Locaties met beperkte connectiviteit:**

- **Zwakke Cloud Computing:** In Vlaanderen wordt connectiviteit als alomtegenwoordig beschouwd, maar dit is niet overal ter wereld het geval. In bepaalde **afgelegen locaties** met **geen of beperkte internetconnectiviteit**, blijkt het heen en weer sturen van data naar centrale datacenters in de praktijk onmogelijk, denk hierbij bv. aan

windmolenparken op zee, boorplatformen, afgelegen landbouwgebieden of fietsroutes. In dergelijke locaties is er nood aan **dataverwerking** die **op het toestel** of zo dicht mogelijk bij de locatie waar de data gegenereerd wordt, plaatsvindt. **Decentrale dataverwerking** is in dit geval noodzakelijk, wat niet geboden kan worden door het op datacentralisatie gebaseerde Cloud-systeem.

- **Meerwaarde Edge Computing:** Edge Computing is uitermate relevant op locaties waar een groot verwerkingsvermogen noodzakelijk is, maar waar er slechts een **beperkte connectiviteit** mogelijk is. Doordat (een groot deel van) de dataverwerking dicht bij het toestel / op de locatie zelf gebeurt, is voldoende connectiviteit dus geen noodzakelijke vereiste meer.

2.2.4.2 Economische, ecologische & maatschappelijke voordelen:

- **Verhoogde transparantie, privacy, datacontrole & -veiligheid:**

- **Zwakke Cloud Computing:** Een volgende inherente tekortkoming aan Cloud Computing, betreft het **gebrek aan controle** over de **eigen (geproduceerde) data** en een gebrek aan **transparantie** van wat er precies met de data gebeurt. Zo blijkt de burger **geen directe toegang** te bezitten tot de over zijn / haar persoon gegenereerde data, die daarenboven opgeslagen worden op de Cloud systemen van een select aantal spelers, de zogenaamde 'Tech Giants' of 'GAMMA's', zijnde Google, Amazon, Meta, Microsoft en Apple, die **geen enkele transparantie** bieden over wat er precies met de data gebeurt en voor welke doeleinden. Dit is nog zorgwekkender in de gevallen waarbij bv. ook ziekenhuisdata wordt opgeslagen in de Cloud. Daarenboven is het versturen van al deze data naar de Cloud niet zonder risico, gezien dit voor heel wat data beveiligingsuitdagingen zorgt.

Een typerend voorbeeld betreft **gezondheidsdata**, die bv. gegenereerd wordt door een draagbare sensor die om het lichaam van een **diabetespatiënt** bevestigd wordt, met als doel om de bloedsuikerspiegel en de hoeveelheid insuline in het bloed te kunnen monitoren via de smartphone. Deze data wordt letterlijk door het lichaam van de patiënt gegenereerd en vervolgens centraal opgeslagen en verwerkt. De **patiënt bezit geen enkel recht om toegang** te krijgen tot deze persoonlijke data, bijvoorbeeld om deze te kruisen en te verrijken met andere voor diabetespatiënten relevante gegevensbronnen, zoals bv. de gegevens afkomstig van de stappenteller van de patiënt. Daarbovenop, heeft de producent van de sensor tevens het recht om deze data te gaan **delen met derden**, zoals bijvoorbeeld de verzekeraar bij wie de diabetespatiënt een levensverzekering afgesloten heeft, waarvan de premie vervolgens eenzijdig verhoogd kan worden. Naast een **gebrek aan transparantie, controle en dataportabiliteit**, zorgt het op Cloud Computing gebaseerde systeem er dus ook voor dat dergelijke **persoonsgevoelige data** zonder enige transparantie **met derden gedeeld kunnen worden**, die de data kunnen inzetten voor **doeleinden** die **tegen het belang** van de burger of patiënt ingaan.

**“Edge Computing garandeert dat de ruwe datastroom het
toestel en/of de Edge cloud niet verlaat, wat de
dataproducent een verhoogde mate van datacontrole
biedt”**

Steven Latré, AI verantwoordelijke - Imec

Ook betekent de massale centrale opslag van data op de datacenters van de GAMMA's een risico inzake **dataveiligheid**, gezien dergelijke centrale servers het afgelopen decennium kwetsbare doelwitten bleken voor ontelbare **cyberaanvallen** en pogingen tot **hacking**.

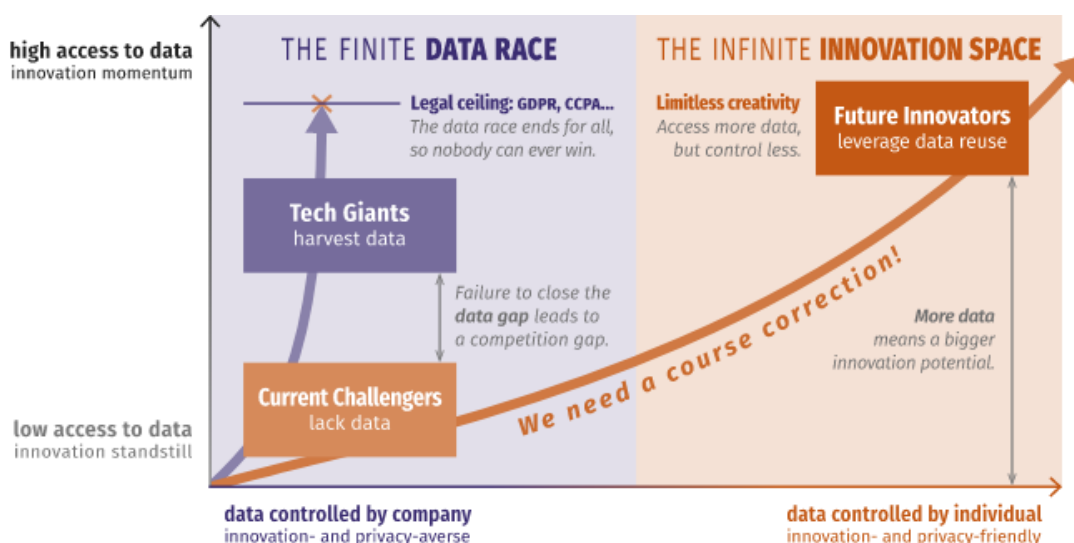
- **Meerwaarde Edge Computing:** Doordat Edge Computing het mogelijk maakt om gegevens zo dicht mogelijk bij de bron te analyseren en te bewaren, kan er een veel hogere mate van

datacontrole en -transparantie gewaarborgd worden. Vanuit een maatschappelijk perspectief lijkt deze verhoogde mate van datacontrole en -transparantie wenselijk aangezien het integreren van slimme apparaten en tools in de woonkamer of het fabrieksgebouw gepaard gaat met een toename in de hoeveelheid gevoelige informatie die verzameld wordt (bv. gezondheidsinformatie, gegevens over het huishouden, enz. – zie ook de diverse use cases). Vertrouwen van gebruikers zal pas ontstaan indien de gebruiker voldoende zicht en controle heeft op wat er met zijn/haar gegenereerde data gebeurt, met name de mate waarin het toestel **loyaal** is aan de gebruiker. De tussenkomst van Edge Computing kan deze loyaliteit sterk verbeteren.

Zo kan data reeds bij de initiële dataverwerking op het apparaat **geanonimiseerd** worden, waardoor dus enkel anonieme (persoons)gegevens centraal opgeslagen worden in de Cloudinfrastructuur. Doordat het Edge apparaat voldoende rekenkracht bezit om algoritmes op te laten draaien, wordt de ruwe **datastroom al op het apparaat zelf verwerkt**. Zo wordt er dus meer controle gegeven aan de gebruiker omtrent welke informatie al dan niet gedeeld wordt. Edge Computing laat toe om de ruwe datastroom niet verder te laten gaan dat het toestel en/of de Edge cloud. In diverse **Smart Cities** hangen vandaag al **slimme camera's** die voldoende rekenkracht bezitten om een algoritme te laten draaien dat beelden van de menigte anonimiseert, zodat er geen persoonsgevoelige beelden gecentraliseerd en gearhiveerd worden op de Cloud-infrastructuur.

- **Versterkte innovatiecapaciteit & 'gelijk speelveld':**

- **Zwakke Cloud Computing:** Een laatste belangrijk pervers effect dat veroorzaakt wordt door Cloud Computing, betreft het feit dat de door het toestel of de sensor gegenereerde data **eigendom** wordt van de producent van het toestel. Zo wordt de data die door Philips' draagbare biosensor verzameld wordt, gecentraliseerd binnen de Cloudinfrastructuur van Philips, die vervolgens analyses uitvoeren op deze data om hun eigen product- en dienstenaanbod te versterken. Deze manier van werken zorgt dus voor een **vendor lock-in**, waarbij er geen mogelijkheid tot **dataportabiliteit** tussen toestellen en applicaties van verschillende producenten bestaat. Zo wordt er opnieuw een **ongeziene hoeveelheid data, kennis en macht gecentraliseerd** binnen de datacenters van een handvol grote technologiespelers en heeft een Vlaamse start- of scale-up die nieuwe innovatieve diensten of producten wenst te ontwikkelen op basis van de data, een sterk en bijna **onoverbrugbaar competitief nadeel**. Dit **gebrek aan dataportabiliteit en interoperabiliteit** versterkt dus de **monopoliepositie** van reeds gevestigde technologiebedrijven en zorgt voor een **'ongelijk speelveld'** ('*unlevel playing field*'), waarbij **'challenger' bedrijven** onvoldoende datatoegang verschaft krijgen om de concurrentie met de grote technologiespelers aan te gaan, zoals weergegeven wordt op onderstaande figuur¹¹



¹¹ [A data ecosystem fosters sustainable innovation | Ruben Verborgh](#)

Eveneens zorgt Cloud Computing voor een **gebrek aan datasoevereiniteit**, gezien data over de grenzen van een land of continent gestuurd worden, veelal naar locaties waar de **wetgeving omtrent dataveiligheid en dataprivacy** veel **beprekter** is. Doordat de data een grote afstand aflegt vanaf de bron en veelal gecentraliseerd wordt binnen **datacenters** die zich in de **Verenigde Staten** bevinden, kan **lokale of regionale wetgeving omzeild** worden. De Europese GDPR-wetgeving, de Data Act en de Data Governance Act leggen namelijk strikte regels op omtrent hoe data dient opgeslagen, verwerkt en vrijgegeven te worden, die door gebruik te maken van binnen **andere jurisdicties** gelegen Cloudopslagsystemen dus eenvoudig ontglipt kan worden.

- **Meerwaarde Edge Computing:** Tot slot biedt Edge Computing ook voordelen ten aanzien van de **innovatie(capaciteit)** en het **creëren** van een **gelijk speelveld voor competitie**. Edge Computing kan namelijk zorgen dat er meer data beschikbaar is voor een grotere hoeveelheid aan partijen om mee aan de slag te gaan. Hiervoor zijn er twee redenen:
 - Edge Computing maakt het mogelijk om gebruikers zelf meer **controle** en **eigenaarschap** te geven over hun data, wat de eindgebruiker finaal de mogelijkheid moet kunnen bieden om zelf te bepalen met wie bepaalde data al dan niet gedeeld wordt.
 - Een tweede reden is een gevolg van de mogelijkheden die Edge Computing biedt m.b.t. Federated Learning. Doordat gegevens reeds geanonimiseerd en gefilterd gedeeld kunnen worden, kan een belangrijk knelpunt weggewerkt worden rond **'the secondary use of data'**. Het secundaire gebruik van gegevens heeft betrekking op het gebruik van informatie die aanvankelijk was verzameld met een bepaald doel, maar vervolgens ook ingezet kan worden voor andere doeleinden, bv. in functie van innovatief onderzoek en ontwikkeling. Zo zal een hartpatiënt met hartritmestoornissen en een pacemaker de informatie die deze pacemaker genereert delen met zijn dokter. Echter zal diezelfde patiënt minder snel geneigd zijn om deze data open te stellen voor bv. Amerikaanse onderzoekers die een grootschalig onderzoek doen naar hartritmestoornissen. Via Edge Computing zou de patiënt echter niet meer alle ruwe en persoonsgevoelige data hoeven te delen, maar enkel **geaggregeerde analyses en inzichten** kunnen overmaken. Op deze manier wordt o.a. de identiteit van de individuele gebruiker beschermd en wordt er toch toegang verleend aan **onderzoekers, bedrijven, kennisinstellingen** tot een voldoende hoeveelheid data om **innovatief onderzoek** uit te voeren en innovaties te realiseren.

“Centralisatie van data binnen grootse datacenters was nuttig vanuit efficiëntie en schaalvoordelen, maar heeft tegelijk ook een ongeziene hoeveelheid macht gegeven in de handen van een select groepje technologiespelers, zijnde de GAMMA's.”

Erik Mannens, Director IDLab – onderzoeksgroep imec en Universiteit Antwerpen & professor Sustainable AI –
Universiteit Antwerpen

Ecologische voetafdruk:

- **Zwakke Cloud Computing:** Cloudarchitectuur impliceert gecentraliseerde dataverwerking en -analyse, die vaak ver weg gebeurt van waar de data gegenereerd werd. Volgens een recente paper kost de verzending, verwerking en opslag van één gigabyte (GB) aan data tussen de 28 tot 54 gram CO₂-uitstoot¹². Als dit omgerekend wordt is dit goed voor 97 miljoen ton CO₂

¹² The overlooked environmental footprint of increasing Internet use – Resources, Conservation & Recycling (2021)

per jaar. Dit is vergelijkbaar met de uitstoot van België (106,2 miljoen ton CO₂ in 2020¹³). De datastroom die gegenereerd wordt via het commando “Hey Siri” om het licht aan te steken, zou naar schatting 11g CO₂ uitstoot teweegbrengen, het equivalent van meer dan 1 uur het licht laten branden. Dit **perverse effect** – waarbij de rekenkracht niet op de meest efficiënte locatie ingezet wordt -, zorgt dus voor een grote hoeveelheid **onnodig en inefficiënt dataverkeer** en een **toename in het energieverbruik** in Apple’s datacenter, wat finaal voor een erg **grote ecologische voetafdruk** zorgt.

- **Meerwaarde Edge Computing:** De Edge beweging biedt het uitgelezen momentum om als samenleving **kritisch stil te staan** bij de impact die het internet en bij uitbreiding de digitale omgeving waarin we leven heeft op ons leefmilieu. Echter is het nog te vroeg om goed te kunnen inschatten hoeveel dataverkeer er uiteindelijk zal plaatsvinden tussen Edge toestellen, Edge clouds en datacenters om realistische voorspellingen te gaan doen en uitspraken te plegen inzake de duurzaamheid van Edge Computing. Om een realistisch beeld te krijgen van de mogelijke efficiëntiewinsten die op energetisch vlak gerealiseerd zouden kunnen worden door toedoen van Edge Computing, dient er de komende jaren nog verder ingezet te worden op **onderzoek** hieromtrent. Hoe dan ook, wordt er vanuit verschillende wetenschappelijke hoeken gespeculeerd dat Edge Computing een **milieuvriendelijkere computerfilosofie** zou kunnen zijn, omdat er bij de implementatie van Edge toestellen actief gezocht wordt naar de meest optimale en efficiënte locatie om computerkracht te in te zetten.

“Dé bepalende factor voor de hoeveelheid rekenkracht in een ‘Edge toestel’, is de mate van energieconsumptie”

Steven Latré – Lead A.I. & R&D bij Imec

Gelet op bovenstaande opportuniteiten die **Edge Computing** met zich meebrengt kan gesteld worden dat Edge Computing een **kritieke rol kan spelen** in hoe de maatschappij in de toekomst met data wenst om te gaan. Samengevat, kan Edge Computing bijdragen aan enerzijds het **mitigeren** van de diverse beperkingen die gepaard gaan met Cloud Computing en anderzijds ook dienen als een **accelerator** voor de verdere evolutie van IoT, AI, machine learning, enz.

¹³ Federaal Planbureau (2022) -

[https://indicators.be/nl/i/G13_GHG/Uitstoot_van_broeikasgassen#:~:text=In%202019%20bedroeg%20de%20Belgische,%2C5%20t%2Finwoner\).](https://indicators.be/nl/i/G13_GHG/Uitstoot_van_broeikasgassen#:~:text=In%202019%20bedroeg%20de%20Belgische,%2C5%20t%2Finwoner).)

De onderstaande figuur biedt een **checklist** van de specifieke cases waarin Edge Computing een meerwaarde kan betekenen.

Als de data binnen de specifieke use case:

- ✓ snel en dynamisch evolueert;
- ✓ privacygevoelig is;
- ✓ locatie gebonden is;
- ✓ tijdsgevoelig is;

Als de use case vereist om:

- ✓ in **real-time** data te capteren, verwerken en/of analyseren;
- ✓ data vanuit verschillende (lokale) **bronnen**, eventueel afkomstig uit toestellen of applicaties van **verschillende leveranciers** te **combineren** en hier **complexe berekeningen** op uit te voeren;
- ✓ **verwerkte inzichten** uit analyses en berekeningen **terug te koppelen**;

2.3 Uitdagingen

In het vorige hoofdstuk is geponeerd dat Edge Computing het potentieel heeft om de manier waarop we als samenleving omgaan met data aanzienlijk te wijzigen. Edge Computing brengt echter ook enkele nieuwe uitdagingen met zich mee die onderzocht en aangepakt dienen te worden om het volwaardige potentieel van Edge Computing te kunnen realiseren.

- **(Cyber)beveiliging**

- Een eerste – misschien weinig verrassende - uitdaging betreft (cyber)**beveiliging**. Dit is uiteraard geen ‘nieuw’ probleem, denk bv. maar aan de vele berichten rond verkiezingsfraude via manipulatie van de digitale stemmen door hackers of de cyberaanval in 2021 op het Belnet – dat het internetknooppunt van hogescholen, universiteiten en overheidsbedrijven beheert. Hoewel het hier dus niet gaat om een nieuwe uitdaging, zal de toepassing van Edge Computing wel enkele **nieuwe dimensies** toevoegen aan de **strijd tegen cybersecurity**. Zo zullen slimme op het internet geconnecteerde apparaten – net als alle andere IT-systemen - een doelwit voor **cybercriminaliteit** vormen. Extra complex in het geval van Edge toestellen, betreft de fysieke toegankelijkheid, het grote aantal mogelijke doelwitten, nieuwe end-to-end beveiligingsoplossingen en de minimaal uitgeruste eindapparatuur.

“Het is eenvoudiger om een aantal grote kastelen te verdedigen dan om elk individueel huisje te beveiligen”

Erik Mannens, Director IDLab – onderzoeksgroep imec en Universiteit Antwerpen & professor Sustainable AI – Universiteit Antwerpen

- Om deze uitdaging aan te gaan zal het noodzakelijk zijn om **nieuwe beveiligingsprotocollen** uit te werken, Edge toestellen te ontwikkelen die **minimale standaarden** hanteren m.b.t. beveiliging, de fysieke locaties van Edge applicaties en Edge Clouds grondig te overwegen en te beschermen, enz. De eerste **mogelijke oplossingsrichtingen** worden hiervoor reeds **onderzocht**, zoals bv. Zero trust network acces (ZTNA)¹⁴. Dit concept is vergelijkbaar met een VPN-verbinding maar verschilt in die zin dat VPN-verbindingen toegang verlenen tot een volledig netwerk, daar waar ZTNA's enkel toegang verlenen tot specifieke diensten of toepassingen. De uitdaging voor de toekomst wordt dus om alle tools en oplossingen die gehanteerd worden om onze Clouds te beschermen om te zetten en te vertalen naar oplossingen die **effectief** zijn op het **gehele Cloud-to-Edge continuüm**¹⁵. Gegeven de beperktere rekenkracht op IoT-toestellen ten aanzien van een breed uitgerust datacenter, kan deze uitdaging niet onderschat worden, waarbij producenten en leveranciers van IoT & Edge toestellen een cruciale rol te spelen hebben in de ontwikkeling van nieuwe beveiligingsprotocollen.

- **Dataverwerkingsinfrastructuur**

- Een tweede uitdaging bestaat erin van **voldoende dataverwerkingsinfrastructuur** te voorzien die **aangepast** is aan de **Edge filosofie** en die tevens voorzien wordt van afdoende menselijke **kennis en expertise**. Bij de start van de uitrol van een ‘on premise Edge Cloud’ op een fabrieksterrein, blijkt in de praktijk namelijk vaak dat het terrein in kwestie niet optimaal voorzien is voor de plaatsing hiervan. Er dient een **geschikte ruimte** (grote, klimatologische omstandigheden, etc.) gevonden te worden, de nodige energievoorziening dienen aanwezig te zijn, etc. Daarenboven is de fabrieksdirecteur

¹⁴ [What Is Zero Trust Network Access \(ZTNA\)? | VMware Glossary](#)

¹⁵ 2021 Strategic Roadmap for Edge Computing – Gartner (2020)

vaak geen IT-professional en zijn uitgebreide IT-teams ook altijd niet altijd even aanwezig op het terrein. Aanpassingen aan de werkorganisatie zullen dan ook vereist zijn.

- **Betrouwbare en robuuste netwerkverbinding**
 - Het voorzien van een voldoende sterk en betrouwbaar netwerk is tevens essentieel in het kader van Edge Computing, maar blijkt een enorme uitdaging (zie hoofdstuk 2.1.2). 5G is hierbij een belangrijke facilitator, maar hiervoor dient de uitrol van het 5G-netwerk echter sterk versneld te worden.
- **Geen “one size fits all” oplossing**
 - Zoals uitvoerig beschreven in het voorgaande hoofdstuk houdt Edge Computing in essentie in dat er gezocht wordt naar de meest optimale en efficiënte locatie om computerkracht te plaatsen. Deze **optimale locatie** zal sterk verschillen van sector tot sector en zal dus sterk afhankelijk zijn van de context of specifieke use case. De potentiële meerwaarde van Edge Computing zal sterk bepaald worden door verschillende contextuele factoren en kenmerken.
- **Interoperabiliteit & dataportabiliteit**
 - Een laatste uitdaging omvat opnieuw geen ‘nieuw’ probleem. Reeds in 2016 en 2017 verschenen de eerste boodschappen rond ‘*Diversity, not the security, is the biggest challenge for IoT*’¹⁶ and ‘*The IoT has a Diversity Problem: too much of it*’¹⁷. Vroeger waren computers de eindpunten van het netwerk. Nu zijn dat vaak een veelheid aan toestellen die ontwikkeld worden door verschillende aanbieders. Wegens een **gebrek** aan afgesproken en aanvaarde (internationale) **standaarden, normen** en **protocollen** bij de opkomst van IoT, is er een wildgroei van beschikbare toestellen met verschillende operationele systemen, communicatieprotocollen, etc. ontstaan. Het is essentieel om al deze verschillende **systemen en applicaties** via dezelfde taal en **semantiek** met elkaar te laten communiceren. Er worden reeds tal van initiatieven genomen inzake **(open) data standaarden, interoperabiliteit en dataportabiliteit**, zoals in Vlaanderen bv. het OSLO-programma of het VLOCA-initiatief in kader van Smart Cities, met als doel om een **vendor lock-in** van de data te vermijden. Een centrale focus binnen Edge Computing is eveneens om op een meer lokaal niveau alle toestellen met elkaar te laten communiceren en de data die deze toepassingen genereren lokaal te combineren en te verwerken. Er kan dus gesteld worden dat Edge Computing deze **reeds bestaande uitdaging** om enige homogeniteit te verkrijgen bij de toestellen en applicaties – zodanig dat deze onderling met elkaar kunnen interageren – **op scherp stelt**.

¹⁶ <https://www.linkedin.com/pulse/diversity-security-biggest-challenge-iot-m-ahmad-shahzad-pmp-/>

¹⁷ <https://securityledger.com/2017/01/the-iot-has-a-diversity-problem-too-much-of-it/>

2.3.1 Use cases

HEALTH

De gezondheidszorg wordt vaak gezien als dé sector die de grootste meerwaarde kan halen uit betere data en krachtigere AI-modellen in vergelijking met elke andere sector. Patiënten kunnen in het ziekenhuis of daarbuiten continu gemonitord worden via allerlei sensoren die gezondheidsinformatie verzamelen en analyseren en op basis van de inzichten ook dokters en verzorgend personeel kunnen alarmeren. Zo werd recent ook bewezen tijdens de Covid-19 pandemie. Medische toestellen zoals



glucosemeters, bloeddrukmeters, meters die diverse parameters van de hartslag opvolgen, bloedsaturatiemeters en andere wearables laten toe om ziektes en infecties doorheen de populatie te volgen en real-time inzichten te verschaffen over de verspreiding en prevalentie ervan. Naast 'tracking & tracing' van bepaalde ziektes, wordt er stelselmatig geëvolueerd richting een meer predicatieve of proactieve gezondheidszorg - een tak van de geneeskunde die bestaat uit het voorspellen van de waarschijnlijkheid van 'een ziekte' en het instellen van preventieve maatregelen. Om de volgende stap te zetten richting een meer data-gedreven 'quantified & connected healthcare' kan Edge Computing een cruciale rol gaan spelen. Via onder meer de genoemde medische toestellen en wearables, wordt er vandaag de dag al een heleboel gezondheidsdata verzameld over elke patiënt, de uitdaging voor de toekomst ligt er echter in om al deze data op een coherente manier te bundelen en met mekaar te laten spreken, om zo tot nieuwe, voorheen verborgen inzichten te komen.

Een loper die zijn wekelijkse ronde van 10km loopt capteert op verschillende manieren data. Zo zal zijn smartwatch de hartslag bijhouden tijdens deze inspanning, terwijl de Strava-app op de smartphone de exacte route en snelheid registreert. Diezelfde smartwatch verzamelt daarnaast ook informatie over de nachtrust en specifieke medische parameters als de hartritmevariabiliteit en het zuurstofgehalte in de lopers bloed. De smartphone van de loper bevat ook een kalender met een overzicht van alle werk gerelateerde afspraken van de voorbije week, wat een indicatie geeft van het stressniveau dat de loper ervaren heeft. Elk van deze relevante databronnen, wordt nu echter verzameld in een verschillend dataformaat, volgens verschillende datastandaarden en wordt daarenboven opgeslagen en gecentraliseerd op verschillende cloud datacenters, waardoor interactie tussen de data onmogelijk gemaakt wordt. Nochtans zou het samenbrengen van deze data ongetwijfeld nieuwe inzichten naar boven kunnen brengen, die relevant zouden zijn voor (de dokter van) de loper.

EDGE ADVANTAGE

Door tussenkomst van Edge Computing zou de loper over een eigen Edge cloud kunnen beschikken die alle data samenbrengt en beheerd kan worden vanop diens smartphone. Een AI-toepassing op de smartphone zou vervolgens alle relevante gezondheidsdata kunnen analyseren, vergelijken met de gegevens uit het verleden en van andere patiënten, om voor nieuwe inzichten en suggesties te kunnen zorgen. Zo kan op een gegeven moment vastgesteld worden dat de hartslag van de loper beduidend hoger of lager was dan gemiddeld. Aan deze vergelijking kunnen nog paramaters toegevoegd worden zoals de mate van stress – die bv. afgeleid kan worden uit het aantal afspraken in de agenda. De combinatie van dit alles maakt het mogelijk om in real-time anomalieën te detecteren in de fysieke toestand van de loper en de nodige actie te ondernemen (bv. een melding op de smartwatch met de vraag om de inspanning af te breken, een noodsignaal naar de dichtstbijzijnde ambulance, of een bericht doorgeven aan de dokter, enz.). Daarenboven zal het de dokter ook in staat stellen om betere zorg te verlenen aan de loper en dit met respect voor zijn/haar privacy. Doordat gezondheidsdata momenteel zo sterk gefragmenteerd zijn, er geen eenduidige internationale datastandaard overeengekomen werd en alle relevante informatie opgeslagen wordt in datacenters van verschillende leveranciers, is het in real-time blootleggen van nieuwe voorheen

verborgen gezondheidsinzichten momenteel nog een utopie. Edge Computing moet dergelijke data-integratie in de toekomst mogelijk maken, iets waar in België nu al in sterke mate op ingezet wordt. Zo beoogt het initiatief van de federale minister voor Volksgezondheid 'data for better health'¹⁸ het faciliteren van een geïntegreerd datatoegangsbeleid m.b.t. gezondheidsdata, om tot maximaal hergebruik van bestaande databronnen over gezondheid en gezondheidszorg te komen. Vanuit dit doeleinde wordt er momenteel eveneens een Belgian Health Data Authority opgericht. Daarnaast loopt er ook reeds onderzoek in Vlaanderen waarbij bekeken wordt hoe Federated Learning kan veralgemeend worden naar toepassingen on the Edge waar verschillende leveranciers verschillende types data verzamelen.

¹⁸ <https://dataforbetterhealth.be/nl/het-initiatief/>

SLIMME STEDEN / SMART CITIES

Vandaag woont meer dan 55% van de wereldbevolking in steden; een aantal dat volgens de huidige prognoses tegen 2050 nog verder zal oplopen tot minstens 68%. Steden nemen slechts 3% van het aardoppervlak in beslag, maar staan wel in voor 80% van de totale energieconsumptie en voor 75% van de uitstoot aan broeikasgassen. **Stedelijke overheden** wereldwijd staan dus voor de **grote uitdaging** om steden ook in de toekomst aangenaam en **leefbaar** te **houden**. De toepassing van IoT kan hierin een grote meerwaarde bieden. Een veelheid aan **sensoren**, slimme **meetapparatuur**



(luchtkwaliteit, waterkwaliteit, enz.) en **camera's** (ANPR- roodlicht- en bewakingscamera's) geven beleidsmakers de mogelijkheid om in **real-time data** te verzamelen, delen en analyseren via de ontwikkeling van **dashboards** en/of **digital twins**. Zo kunnen bestaande diensten en infrastructuren maximaal geoptimaliseerd en aangepast worden in functie van de (snel) veranderende situatie, context en noden.

De realisatie van slimme steden vereist wel dat al deze sensoren, camera's en meetapparatuur verbonden zijn met elkaar en dat in real-time data kan verzameld en verwerkt worden. Daarenboven dient de **privacy** van de **burgers** beschermd en gerespecteerd te worden wat maakt dat de data goed beveiligd moet zijn en zoveel als mogelijk geanonimiseerd.

EDGE ADVANTAGE

De eigenheid van Smart Cities bestaat erin dat heel wat lokale data verzameld wordt die benut wordt om op lokale schaal de leefbaarheid, duurzaamheid, etc. te verbeteren en te optimaliseren. Het verzenden van al deze data naar (buitenlandse) datacenters die zich ver van de stad bevinden druist in tegen het principe en de visie van het Smart City gedachtegoed en zorgen er tevens voor dat de lokale besturen heel wat controle en transparantie verliezen. De installatie van **lokale verwerkingsknooppunten** en Edge Clouds stelt de stad in staat om de **gegenereerde data lokaal** te verwerken en **archiveren** wat naast **meer controle** en **minder belasting** van het **netwerk** ook het **real-time gebruik van data** faciliteert en de verantwoordelijkheid voor de **bescherming** van de **privacygevoelige data** (terug) in handen van de lokale mandatarissen legt.

ENERGIE

Het energievoorzieningsmodel is bezig aan een enorme shift. Daar het vroeger ging om een relatief eenvoudig model waarbij één bepaalde energiebron (bv. kerncentrale) energie leverde aan elk individueel gebouw, ziet het energievoorzieningslandschap van morgen er een stuk complexer uit. Steeds vaker wordt er gezocht naar een **slimme koppeling** en afstemming van **vraag** en **aanbod** van **energie** en daarenboven ook van de verschillende energievormen (elektriciteit, warmte en koude). Er wordt hierbij gesproken van een **slim netwerk** of



Smart Grid. Bij een slim elektriciteitsnet speelt echter meer dan alleen het matchen van vraag en aanbod. Zowel de vraag als het aanbod worden onder impuls van recente innovaties namelijk steeds dynamischer:

- Zo wordt de gebruiker – door o.a. de opkomst van allerlei alternatieve (hernieuwbare) energiebronnen – immers steeds vaker ook **producent** (via o.a. zonnepanelen en warmtepompen). De productie van hernieuwbare energie via zon en wind kan echter moeilijk gestuurd en voorspeld worden.
- Ook de vraag is een heel dynamisch gegeven geworden gelet op het feit dat slimme applicaties tegenwoordig aangepast worden aan de energievoorzieningen en bv. traag of niet opladen tijdens een moment van piekgebruik.

De uitdaging van een Smart Grid is dus om voor een bepaalde **geografisch afgebakende locatie** op een **flexibele** en **optimale** manier de dynamische **vraag** naar **energie** voor gebouwvoorzieningen én voor elektrische mobiliteit te **sturen**, in functie van de **variabele productie**. Verschillende onderzoekscentra, lokale besturen en havens zijn momenteel al aan de slag met de aanleg van Smart Grids en warmtenetten in Vlaanderen, zoals bv. het warmtenet van Gentse haven North Sea Port, of de “CO2-Neutral Smart Multi Energy Grid” van het Green Energy Park¹⁹.

Het hoeft geen betoog dat er voor het realiseren van een performante Smart Grid een **grote hoeveelheid** voornamelijk **lokale data** (weersverwachtingen, elektriciteitsverbruik, energievereisten, ...) vanuit uiteenlopende bronnen verzameld, verwerkt en geanalyseerd dient te worden op een zo kort mogelijke tijd. In het **huidige cloud-model** wordt de versnipperde data naar aparte datacenters op grote fysieke afstand van de geografische locatie gestuurd, om deze vervolgens opnieuw te centraliseren om analyses en instructies op te maken ter optimalisering van de werking van de Smart Grid, wat erg **inefficiënt** is en voor een grote continue belasting van het netwerk zorgt.

EDGE ADVANTAGE

Via Edge Computing en het op lokaal niveau verzamelen, analyseren en verwerken van de data kan dit verholpen worden en lijkt de realisatie van een **performant energienet** wel binnen **handbereik**. Om vb. een warmtenet van een appartementsblok te optimaliseren op het vlak van energie-efficiëntie is er mogelijk heel wat privacy gevoelige informatie dat gelekt kan worden, i.e. als sensoren vaststellen dat er gedoucht wordt en hoelang is het een koud kunstje om patronen te herkennen van individuele huishoudens van wie wanneer en met hoeveel personen thuis zijn. Edge Computing laat toe om deze informatie lokaal te houden, het AI algoritme lokaal te voeden en enkel **niet privacy gevoelige geaggregeerde data** naar een hoger niveau te tillen om het warmtenet aldus globaal te optimaliseren (cf. Federated Learning), i.e., op het juiste moment de temperatuur te verhogen om vb. de warmwaterbuffers per huishouden aan te vullen met een minimale hoeveelheid energie.

¹⁹ <https://www.greenenergypark.be/onderzoeksdomeinen/#domein1>

SMART HOME – SMART LIVING

Een "slimme woning" kan worden omschreven als een woning die is uitgerust met moderne technologische sensoren, apparaten en toestellen die op afstand kunnen worden gecontroleerd, aangestuurd en bewaakt om het leven voor de bewoners op zoveel mogelijk vlakken te vereenvoudigen²⁰. De "slimheid" van het systeem wordt bereikt door het verbinden van apparaten via het Internet of Things (IoT). De mogelijkheden zijn heel divers, gaande van slimme (buiten)verlichting, beveiligingscamera's, deurbellen, en deursloten tot digitale thermostaten, audiosystemen en rookmelders. Al deze apparaten connecteren met elkaar en met de smartphone / tablet / laptop van de bewoners creëert heel wat mogelijkheden om het huishouden anno 2022 een stuk efficiënter te runnen. Zo kan een bewoner vanop zijn tablet de beelden van de camera in diens slimme deurbel raadplegen en bepalen om al dan niet toegang te verlenen tot het huis via de ontgrendeling van het slimme deurslot. De slimme (Roomba) stofzuiger bevat een 'Smart Mapping' van de woning waarmee geprogrammeerd kan worden welke delen van de woning wanneer dienen gekuist te worden. Daarnaast kan de stofzuiger eenvoudig geactiveerd worden via de spraak assistent en detecteert en omzeilt het rondslingerende voorwerpen zoals schoenen, kabels, opladers, enz. en maakt zo het huis schoon zonder dat de bewoner één stap hoeft te zetten. De geconnecteerde televisietoestellen en audio-installatie kunnen via het geven van een eenvoudig ingesproken commando door de bewoner simultaan geactiveerd worden doorheen het hele huis. Bij het ochtendgloren activeert de slimme thermostaat de verwarming in de badkamer automatisch, vanaf het moment dat de bewoner de verlichting in de slaapkamer doet branden. Het aantal mogelijkheden tot het slimmer beheren van de woning zijn legio en breidt de komende jaren ongetwijfeld nog verder uit.



Al deze apparaten connecteren met elkaar en met de smartphone / tablet / laptop van de bewoners creëert heel wat mogelijkheden om het huishouden anno 2022 een stuk efficiënter te runnen. Zo kan een bewoner vanop zijn tablet de beelden van de camera in diens slimme deurbel raadplegen en bepalen om al dan niet toegang te verlenen tot het huis via de ontgrendeling van het slimme deurslot. De slimme (Roomba) stofzuiger bevat een 'Smart Mapping' van de woning waarmee geprogrammeerd kan worden welke delen van de woning wanneer dienen gekuist te worden. Daarnaast kan de stofzuiger eenvoudig geactiveerd worden via de spraak assistent en detecteert en omzeilt het rondslingerende voorwerpen zoals schoenen, kabels, opladers, enz. en maakt zo het huis schoon zonder dat de bewoner één stap hoeft te zetten. De geconnecteerde televisietoestellen en audio-installatie kunnen via het geven van een eenvoudig ingesproken commando door de bewoner simultaan geactiveerd worden doorheen het hele huis. Bij het ochtendgloren activeert de slimme thermostaat de verwarming in de badkamer automatisch, vanaf het moment dat de bewoner de verlichting in de slaapkamer doet branden. Het aantal mogelijkheden tot het slimmer beheren van de woning zijn legio en breidt de komende jaren ongetwijfeld nog verder uit.

Slimme apparaten verzamelen en generen data en een optimaal functionerende slimme woning vereist dat de diverse sensoren, apparaten en toestellen met elkaar kunnen communiceren. Dit maakt dat een grote hoeveelheid van informatie verzameld en gedeeld wordt en dat tevens voldoende rekenkracht aanwezig moet zijn in de respectievelijke toestellen om al deze data te verwerken, te analyseren en hieraan de juiste acties te koppelen. Slimme connectoren als Google Nest zijn specifiek ontwikkeld om de diverse apparaten in de woning te koppelen en met elkaar te laten communiceren, maar beschikken niet over afdoende rekenkracht om lokaal al deze data te verwerken. Concreet wordt dus al deze data naar de cloud-infrastructuur van Google gestuurd, waarna de gewenste acties teruggestuurd worden naar de woning. Dit maakt dat enorme hoeveelheden aan data grote afstanden afleggen buiten de muren van de woning, wat een grote bandbreedte vergt (en dus een grote impact heeft op de fysieke leefomgeving) en tegelijk ook tot vertraging leidt. Bijkomend pervers effect, houdt in dat de data die door de slimme apparaten binnen de woning gecapteerd wordt, per definitie persoonlijke en gevoelige informatie omvat, zoals bv. het uur van opstaan, die het toelaten om de identiteit van de bewoners te achterhalen. De bewoner bezit echter geen enkele controle en transparantie over zijn meest persoonlijke informatie.

EDGE ADVANTAGE

De toepassing van Edge Computing zou toelaten om alle **gegenereerde data** letterlijk 'in de woonkamer' te **houden**. Dit zou mogelijk zijn via bv. de aanwezigheid van een 'next generation' digicorder met voldoende opslag- en verwerkingsvermogen. Dit laat vooreerst de bewoner toe om **controle** te houden over **zijn/haar persoonlijke data** en verkort daarnaast drastisch de afstand die de data dient af te leggen, hetgeen voordelig is voor zowel de belasting van het netwerk als voor de reactiesnelheid. Daarenboven geeft het de vrijheid aan de bewoner om indien gewenst zijn data te delen met andere partijen en/of bedrijven, zoals bv. zijn architect in het kader van renovatiewerken waarbij ze de woning energiezuiniger wensen te maken. Dit

²⁰ Smart Home Technology: An Exploration of End User Perceptions (2018) -

https://www.researchgate.net/publication/327136969_Smart_Home_Technology_An_Exploration_of_End_User_Perceptions

mogelijkheid hebben om deze data te verkrijgen, waar het daarvoor uitsluitend eigendom was van één bedrijf die omwille van economische en concurrentiële redenen die data vaak niet delen.

SMART WAREHOUSE

Een slim magazijn is de meest vergaande vorm van magazijnautomatisering. Net als bij smart homes omvat een smart warehouse verschillende geautomatiseerde en onderling verbonden technologieën, met als doel een toegenomen productiviteit, efficiëntie en accuraatheid. Slimme magazijnen zitten boordevol slimme technologie, gaande van AI tot IoT, waardoor processen kunnen geautomatiseerd worden door tussenkomst van tools als automatische inventariscontroles, geautomatiseerde tools voor orderpicking (zoals robots, geautomatiseerde heftrucks, enz.), geautomatiseerde planningstools, sensoren en zelfs digital twins van het magazijn.



Zo werkt KPMG mee aan de realisatie van een prototype Smart Warehouse in Albany, New York, in opdracht van de Amerikaanse Defensie. Technologieën die hier geïmplementeerd worden zijn o.a. een geïntegreerd magazijnopslagsysteem, gerobotiseerde opslag en inventarisering, geautomatiseerd onderhoud en inspectie en het gebruik van barcodescanners en mobiele computers. De voorziene resultaten van het project zijn 55% lagere arbeidskosten, 65% snellere verwerkingstijd en een 98% nauwkeurigheidsgraad wat betreft de inventaris. Daarbovenop komt een volledige gedigitaliseerd aankoopbeleid en de mogelijkheid om het magazijn vanop afstand te monitoren en data-gedreven beslissingen te nemen²¹.

EDGE ADVANTAGE

De grote hoeveelheid data en verwerkingsvermogen die een Smart warehouse vereist, pleit opnieuw voor een Edge benadering. Via de installatie van een Edge Cloud / verwerkingsknooppunt op de locatie kan het vereiste verwerkingsvermogen voorzien worden en wordt er tevens belet dat de data verstuurd wordt naar de cloud. Dit is essentieel in het kader van **datacontrole en -cyberveiligheid**, gezien het gaat om een militaire opslagplaats en hypergevoelige data. Het 'on site' houden van deze biedt namelijk mogelijkheden om deze data zo maximaal mogelijk te beveiligen en maakt tevens dat er geen grote hoeveelheden gevoelige informatie samen verzameld dienen te worden in één of enkele centrale datacenters.

²¹ KPMG 5G Smart Warehouse Transformation (2022)

CLOUD GAMING

In het verleden kochten gamers spelletjes als op zichzelf staande softwaretoepassingen. Deze werden lokaal geïnstalleerd en/of uitgevoerd, waarbij het apparaat van de speler alle besturingsinputs, spellogica, grafische vormgeving en audiovisuele output verwerkte. Cloud gaming verwijst naar een radicaal ander distributiemodel waarbij games centraal worden gehost, verwerkt en weergegeven. In plaats van een spel te installeren en uit te voeren op het lokale apparaat, wordt het spel dus naar de spelers gestreamd via het internet. Bevrijd van hardware beperkingen hebben spelers toegang tot cloudgames via apparaten die misschien niet in staat zijn / waren om high-end games uit te voeren, zoals laptops, smartphones of tablets.



Cloud-based gaming is een wereldwijd fenomeen dat in een adembenemend tempo in populariteit toeneemt. De opkomst van AR/VR creëert ongelooflijk levendige en realistische ervaringen die een uitmuntende connectiviteit vereisen om op het hoogste niveau te functioneren. Gamers hebben nood aan ultrasnelle en robuuste connectiviteit in combinatie met een zeer lage latentie om geavanceerde graphics en inhoud te ondersteunen die naar meerdere spelers tegelijk wordt gestreamd. Deze hoge vereisten brengen echter enkele technische uitdagingen met zich mee zoals de uitrol van ultrasnelle internetverbindingen, waardoor videostreaming van hoge kwaliteit in real-time mogelijk is, en **datacenters** met hoge capaciteit **dicht bij de eindgebruikers** om de 'latency' te beperken. Daarenboven is het zo dat als cloudgaming het merendeel van de traditionele gaming vervangt, een toename van de cloud computingcapaciteit en bandbreedte nodig is die de wereldwijde opkomst van videostreaming evenaart²².

EDGE ADVANTAGE

Samengevat is een lage latency, een uitstekende connectiviteit en een hoge betrouwbaarheid essentieel. Edge Computing heeft de mogelijkheden om dit te realiseren. Een prima voorbeeld hiervan is Pokémon GO. De app verzameld een aanzienlijke hoeveelheid gegevens - locatie, beweging van de speler en internetverbinding. Bovendien synchroniseert de applicatie met uw Google-account, wat betekent dat het ook toegang heeft tot uw Google-gegevens. Dit is een enorme hoeveelheid informatie die wordt verkregen en verwerkt door de spelservers van het Google Cloud Platform. Daarnaast maakt Pokémon Go ook gebruik van de mogelijkheden van de smartphone, zoals de camera en de locatie. Neem daarbij het enorme aantal Pokémon GO-downloads bij de opkomst van het spel en het is niet verassend dat er prestatieproblemen ontstaan. Het is dan ook een perfect voorbeeld van waar Edge datacenters van groot nut kan zijn. Zo zouden een reeks Edge datacenters het heen en weer sturen van locatiegegevens en andere data met individuele gebruikers kunnen afhandelen. De Edge datacenters zouden ook alle uitgaande berichten naar spelers afhandelen, statistieken verzamelen en in het algemeen de score bijhouden. Slechts af en toe zouden de Edge datacenters gegevens naar een centraal datacentrum moeten sturen, en dan alleen een deel van wat zij verzamelen, zoals scoregegevens.

Het gebruik van deze Edge datacenters zou de latentie van elke heen-en-weer-interactie drastisch verminderen en tegelijkertijd de hoeveelheid data die over grote afstanden moet verzonden worden significant verminderen. In veel opzichten bootst Pokémon GO een Internet of Things omgeving na, met veel apparaten die gegevens naar een centrale site sturen. Door Edge datacenters op te richten, te optimaliseren en toekomstbestendig te maken, kunnen apps als PokémonGo servercrashes verminderen of zelf vermijden en kunnen gebruikers zonder problemen op jacht naar Pokémon. Volgens game-ontwikkelaars is de shift naar de Edge filosofie een noodzakelijke stap om de ontwikkeling en uitrol van grafisch steeds complexere spellen mogelijk te maken. Denk hierbij bv. ook aan live gaming met behulp van VR-technologie en uiteindelijk de 'Metaverse'.

²² The Problem of Cloud Gaming latency (2022)

MANUFACTURING / SLIMME FABRIEKEN

De vierde industriële (r)evolutie combineert digitale en fysieke systemen, het IoT, het internet van systemen en andere opkomende technologieën om operationele intelligentie, efficiëntieverbetering en nieuwe bedrijfsmodellen mogelijk te maken. Via deze (r)evolutie ontstaan uiterst autonome fabrieken, waar sensoren allerhande data analyseren en AI de productie voortdurend aanpast om aan de vraag te voldoen. Door voorspellend onderhoud, 24/7 monitoring, minimale stilstand en een verbeterde veiligheid kunnen de prestaties in de productie significant worden verbeterd. De eindproducten worden tijdens het hele proces beoordeeld om de hoogste kwaliteit te helpen garanderen, de kosten van fouten te verminderen en te zorgen voor tevreden eindklanten.



Een geconnecteerd ecosysteem is de volgende evolutionaire stap in (product) manufacturing:

- Geïntegreerde systemen en sensoren bieden de mogelijkheid om de levenscyclus en activiteiten van machines 24/7 te monitoren en om kritieke aspecten van de productieactiviteiten te controleren;*
- De verzamelde gegevens kunnen nieuwe operationele inzichten verschaffen, voorspellend onderhoud stimuleren, de productietijd helpen verbeteren en de foutenlast te verlagen;*
- Deze nieuwe mogelijkheden zullen bijdragen aan productinnovatie, een aanzienlijke verbetering van de productkwaliteit en een verbetering van de keten;*
- Het stelt bedrijven in staat in real time te reageren op veranderende eisen en omstandigheden in de fabriek, in het toeleveringsnetwerk en in de behoeften van de klant.*

EDGE ADVANTAGE

Deze geconnecteerde manufacturing vormt een tastbaar voorbeeld van hoe de fysieke en digitale wereld steeds meer in mekaar verwezen geraakt. Ook hier kunnen Edge toepassingen een significante rol spelen. Een sensor die capteert of de machinale productie van een bepaald product geen fouten bevat, dient zo snel mogelijk aan te geven wanneer er toch variaties vastgesteld worden. Dit dient zich meteen ook te vertalen in specifieke acties van andere machines en/of personen binnen het bedrijf die kunnen bijdragen aan het oplossen van dit probleem. Een bedrijf in de farmaceutische industrie die zo snel mogelijk contaminaties in de installaties wenst op te sporen, wil de analyses van stalen niet laten uitvoeren op afstand, maar zoveel mogelijk ter plaatse. Een 'AI asset operator' monitort de werking van operatoren en tracht hen te ondersteunen en begeleiden indien ze bv. een fout zouden maken. Deze nauwe link met de personen op het terrein maakt dat een snelle werking en reactie van het AI-systeem essentieel is om de samenwerking te laten renderen.

Innovatief, digitaal en vooruitstrevend als Vlaanderen is wordt ook reeds onderzoek gevoerd naar de meerwaarde van Edge Computing binnen industrie 4.0 en werden al enkele lokale pilootprojecten opgestart. ID Lab Gent is bezig met het project 'Time Speed Networking' en ook in Gent loopt er een Edge Computing test bed rond industrie 4.0. De transformatie richting autonome fabrieken is een forse investering die mogelijks te groot is voor sommige bedrijven. De harde realiteit is echter dat degene die de upgrade kunnen maken hun concurrenten ver achter zich zullen laten in de (nabije) toekomst vanwege de garantie op meer kwalitatieve, snellere en goedkopere producten die bovendien worden geproduceerd met minder afval, lagere onderhouds- en energiekosten en een lagere uitstoot.

ONDERWIJS

Augmented Reality is een belangrijke (digitale) trend. Er wordt geschat dat er tegen 2023 wereldwijd 1,4 miljard 'augmented reality' gebruikers zullen zijn²³. AR is vooral bekend door mobiele games en sociale mediaplatforms zoals Snapchat of Instagram. Het onderwijs is echter een andere belangrijke sector waar deze technologie meerwaarde kan bieden en momenteel al toegepast wordt. Met **AR** kan het **(afstands)onderwijs** naar een **volgend niveau** getild worden en ook **interactiever** gemaakt worden. Leraren kunnen met AR virtuele voorbeelden van (vaak abstracte) concepten laten zien en spelelementen toevoegen ter ondersteuning van het lesmateriaal. Hierdoor wordt de lesmaterie letterlijk tastbaarder gemaakt en kunnen leerlingen **sneller leren** en **informatie onthouden**.



Daarenboven kan met behulp van AR En Edge Computing het leeraanbod veel gericht afgestemd worden op elk individu. Zo kan een leerling binnen een AR leeromgeving ook gemonitord worden waarbij bv. parameters als stress, vermoeidheid en de geleverde prestatie op specifieke oefeningen in kaart gebracht worden. Op basis van deze input kan het leeraanbod dat aan het individu voorgeschoteld wordt aangepast worden, zodoende dat hij/zij voldoende uitgedaagd wordt bij zeer sterke prestaties of net ontlast wordt indien een hoge mate van vermoeidheid en/of stress gecapteerd wordt.

Uit bovenstaande blijkt duidelijk dat AR in het onderwijs het potentieel bezit om de interactiviteit en tastbaarheid van de lesmaterie sterk te bevorderen en op termijn het onderwijssysteem drastisch kan (en zal) herzien. AR bevat niet enkel meerwaarde voor het basisonderwijs, maar kan eveneens ingezet worden binnen het hoger onderwijs en diverse meer praktische opleidingsrichtingen²⁴.

EDGE ADVANTAGE

Om het volledige potentieel van AR te kunnen ontplooien in o.a. het onderwijs zullen nog heel wat nieuwe toepassingen gecreëerd (moeten) worden en dienen de scholen over de juiste infrastructuur te beschikken om dit te implementeren en uit te rollen. Het beschikken over genoeg computing power zal zeker één van deze vereisten zijn aangezien een ultralage latentie en hoge bandbreedte zo cruciaal zijn voor AR. Het dichterbij brengen van reële situaties bij de eindgebruiker zal de gebruikersmogelijkheden verder doen toenemen. Denk hierbij bv. aan het plaatsen van leerlingen van de politieschool in levensechte bedreigende en/of potentieel gevaarlijke situaties zonder hiervoor te moeten afreizen naar grote testcentra of het opzetten van grote oefeningen die heel wat praktische organisatie vergen. Op deze manier lijkt **Edge Computing** dus ook zijn **rol te hebben** binnen het **onderwijs van de toekomst**.

²³ <https://www.statista.com/statistics/1098630/global-mobile-augmented-reality-ar-users/>

²⁴ Augmented Reality in Education: A Staggering Insight Into the Future (2021)

PUBLIC SAFETY / FIRST RESPONDERS

In **noodscenario's** waar **seconden** het **verschil** kunnen uitmaken **tussen leven of dood**, zijn snelle en betrouwbare data en analyses van essentieel belang voor hulpdiensten en hulpverleners zoals de brandweer, de politie en ambulanciers.

Zo zijn brandweerlieden bij een brand in een gebouw uitermate afhankelijk van een constante stroom aan informatie zoals informatie over de gebouwstructuur, plattegronden, gevaarlijke stoffen die aanwezig kunnen zijn, aantal personen die zich in het gebouw bevinden, veiligheidsperimeters, aanpalende gebouwen, etc.

Ambulanciers zullen in de toekomst rondrijden met hype uitgeruste ambulances. Deze voertuigen zullen worden voorzien van de meest geavanceerde technologische apparaten en applicaties en voldoende verwerkingsmogelijkheden om **diagnoses** en analyses **uit te voeren in de ambulance** zelf en het volledige verzorgingsproces op deze manier te versnellen. Draadloze netwerken (bv. 5G,) zullen de patiëntengegevens en dossiers en ingewikkelde kaarten (röntgenfoto's, MRI, CT en vasculaire scans) verstrekken. Robuuste computersystemen aan boord van de ambulances zullen samen met deze dossiers de patiëntstatus verwerken en rapporten naar het dichtstbijzijnde ziekenhuis sturen.




Politiepatrouilles die opgeroepen worden voor een interventie dienen zo snel mogelijk als mogelijk alle relevante informatie te verkrijgen zodat ze een geïnformeerde beslissing kunnen nemen over de meest optimale en efficiënte manier om de interventie uit te voeren. Denk hierbij aan betogingen, vechtpartijen, diefstallen & overvallen, familiaal geweld, enz. De voorbeelden zijn legio van een **(potentieel) gevaarlijke, uitermate complexe en snel veranderende context** waarin de politie moet opereren en waarbij **alle beschikbare informatie** van **onschatbare waarde** kan zijn om de situatie op de meest gepaste wijze te ontmijnen.

EDGE ADVANTAGE

De kritische analyses waaraan de hulpverleners nood hebben vereisen vaak **tijdgevoelige gegevensverwerking**. De oplossing moet **efficiënt** zijn in het verzamelen en verwerken van real-time feeds om van minuut tot minuut rapporten, kritieke updates en bruikbare informatie te verstrekken. Analyses en algoritmen van dit niveau **vereisen aanzienlijke opslag-, netwerk- en rekencapaciteit**. Edge Computing kan ingeschakeld worden om te voldoen aan deze behoeften vanwege de **verbeterde nauwkeurigheid** en snelheid en de **gegarandeerde beschikbaarheid**. Daarenboven is gelet op de enorme hoeveelheden gegevens van camera's, drones, satellieten, archieven, omstaanders, getuigen en hulpverleners zelf (bodycams, biomonitoren, locatiebepalers) een bekwame 'computer' op locatie geen overbodige luxe voor de verwerking van deze gegevens.

Via Edge Computing kunnen eerstelijns hulpverleners beroep doen op betrouwbare, snelle real-time inlichtingen. Traditionele Cloud Computing kan tegelijkertijd parallel worden uitgevoerd voor meer diepgaande lange termijn inzichten die minder relevant zijn voor één specifieke casus, maar die meer relevant zijn in het kader van structureel beleid.

2.3.2 Overzicht voordelen use cases

	Technische voordelen			Economische, ecologische & maatschappelijke voordelen		
	Reactiesnelheid	Bandbreedte	Connectiviteit	Transparantie, controle, privacy & veiligheid	Innovatiecapaciteit & gelijk speelveld	Ecologische voetafdruk
Health	✓			✓	✓	
Slimme steden / Smart Cities	✓	✓		✓	✓	✓
Energie		✓		✓		✓
Smart home – Smart Living	✓	✓		✓	✓	✓
Smart Warehouse		✓	✓	✓		
Cloud gaming	✓	✓	✓			
Manufacturing / Slimme fabrieken	✓		✓	✓	✓	
Onderwijs	✓	✓		✓		
Public safety / first responders	✓		✓	✓		

3 Opportuniteiten voor Vlaanderen

3.1.1 Europa

De Europese datastrategie is er gekomen in het licht van een steeds groeiende datastroom en -markt, ontwikkelde inzichten in de (toegevoegde) waarde die data heeft in de economie en de samenleving en het groeiende bewustzijn van de monopoliepositie die data aan Big Tech bedrijven verleent. Europa wenst een actieve rol te spelen om een **interne datamarkt** tot stand te brengen die het **wereldwijde concurrentievermogen** en de **datasoevereiniteit** van Europa waarborgt. Gemeenschappelijke Europese dataruimten dienen ervoor te zorgen dat er meer data ingezet kan worden in functie van de economie en de samenleving, terwijl de bedrijven en burgers die de data genereren de **controle behouden**. De Europese datastrategie steunt op 3 belangrijke wetgevende kaders, zijnde:

- **GDPR:** Het beheer en de beveiliging van **persoonlijke gegevens** van Europese burgers wordt geregeld in de Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG) of GDPR (General Data Protection Regulation), waarin principes als **datatransparantie** en **-proportionaliteit** centraal staan. Alle bedrijven, overheidsdiensten, organisaties en instellingen die in Europa persoonsgegevens verwerken, gebruiken, registreren of bewaren, moeten voldoen aan deze richtlijn.
- **Data Governance Act:** De Data Governance Act heeft tot doel via de creatie van meer **vertrouwen** de bereidheid om **data te delen** te stimuleren, mechanismen te versterken om de **beschikbaarheid van data** te vergroten en technische belemmeringen voor het **(her)gebruik** van gegevens weg te nemen, door tussenkomst van **data intermediaries** (cfr. *Datanutsbedrijf in Vlaanderen*). De Data Governance Act zal ook de oprichting en ontwikkeling ondersteunen van **gemeenschappelijke Europese dataruimten** op strategische focusdomeinen, in sectoren zoals gezondheid, milieu, energie, landbouw, mobiliteit, financiën, productie, en openbaar bestuur. De Data Governance is op 23 juni 2022 in werking getreden en zal, na een 'inlooperperiode' van 15 maanden, vanaf september 2023 effectief van kracht gaan. Edge Computing speelt de Data Governance Act in de kaart (en omgekeerd), doordat het een stimulans biedt voor de bereidheid om data te delen en het (een deel van) de technische belemmeringen voor het (het)gebruik van data wegwerkt.
- **Data Act:** De Data Act, die een complementaire aanvulling vormt op de Data Governance Act en de GDPR-wetgeving, beoogt de (meer)waarde van data in de economie te maximaliseren door ervoor te zorgen dat een **groter aantal stakeholders controle krijgt over hun data** en dat **meer data beschikbaar** gemaakt worden voor **innovatief gebruik** (cf. gelijk speelveld) en focust op vanuit machines gegenereerde data, in tegenstelling tot de GDPR-wetgeving die focust op persoonlijke data. Deze wetgeving is uitermate relevant in het kader van **Edge en IoT-toestellen** omdat het wil afdwingen dat gebruikers **toegang krijgen tot de data** die hun toestellen en applicaties door / over hen genereren. Net als bij de Data Governance Act versterken ook de doelstellingen van de Data Act de noodzaak aan Edge Computing omdat deze nieuwe architectuur handvaten biedt om de doelstellingen van de wetgeving te bereiken. Deze wetgeving is tevens op maat uitgewerkt van het typisch economisch weefsel in Europa, zijnde kleine & middelgrote ondernemingen (KMO's).

Eén van de volgende stappen binnen het Europese beleid bestaat erin van ook de **lidstaten** aan te moedigen een meer actieve rol op te nemen in het debat rond data(deling). De visie, aanpak en data-gerelateerde wetgeving en initiatieven van de Europese Commissie spelen verder in de kaart van de Edge revolutie en toont aan dat het belang van deze trend de komende jaren niet verder zal afnemen, integendeel. Zo is Europa zich stelselmatig aan het ontpoppen tot de wereldwijde instantie die inzet op data vanop een ethische en duurzaam verantwoorde manier en groeit Europa uit tot **unieke 'testing ground'** voor Edge Computing.

"China focust vooral op centrale controle en biedt de burger geen enkele toegang tot diens data. In de V.S. ligt de focus dan weer overwegend op het ondersteunen van Big Business. Europa focust op de ondersteuning van KMO's, waardoor er een centrale rol weggelegd lijkt voor Europa binnen de Edge Computing revolutie"

Anna Scott – Global Head Public Sector, Intel

3.1.2 Vlaanderen

Vlaanderen onderschrijft en ondersteunt als trouwe partner van de Europese Unie de Europese visie op Data Tech integraal en wordt gezien als één van de voortrekkers binnen Europa rond dit thema. Vlaanderen beschikt vandaag dan ook over **een uitgebreide selectie troeven** om uit te blinken in Data Tech:

- **De Vlaamse overheid**, die op Europees niveau erkend is voor haar pioniersrol op het gebied van digitale transformatie en die de uitgesproken ambitie heeft om Vlaanderen in de markt te zetten als het innovatie- en technologiecentrum van Europa en de wereld, waarvan het Flanders Technology & Innovation event een sprekend voorbeeld vormt;
- **De leidende rol** van Vlaamse KMO's en **strategische onderzoekscentra** zoals imec - wereldvermaard op het gebied van nanotechnologie en chips;
- **De reeds gelanceerde initiatieven** – zoals het datanutsbedrijf en SOLID (lees ook hoofdstuk 3.2.1) die grensverleggend zijn op gebied van data.

Met deze troeven heeft Vlaanderen momenteel een bevoorrechte positie verworven op het vlak van Data Tech waarin onderzoek naar Edge Computing en de ontwikkeling van Edge Computing toepassingen kan floreren.

"Europese overheden zouden in de toekomst een meer actieve rol moeten opnemen in het debat rond (data)deling."

Seth Van Hooland – Programmamanager, DG Digit, Europese Commissie

3.2 Vlaanderen 'in a perfect storm'

Het **ecosysteem** dat Vlaanderen gecreëerd heeft inzake Data Tech is uniek in de wereld en maakt dat Vlaanderen in **pole position** ligt om enerzijds zijn **voortrekkersrol** te bestendigen via o.a. de verdere uitbouw en uitrol van SOLID en het Datanutsbedrijf. Anderzijds stelt dit ecosysteem Vlaanderen ook in staat om in te zetten op **nieuwe cutting-edge technologieën en evoluties** zoals **Edge Computing**. De realiteit is namelijk dat Edge Computing een compleet nieuwe dimensie met zich meebrengt die heel wat (verdere) investeringen en onderzoek zal vergen om het potentieel hiervan zo maximaal mogelijk aan te wenden. Zo wordt vanuit Vlaanderen reeds sterk ingezet op **interoperabiliteit** en **dataportabiliteit**. Het **Vlaamse ecosysteem** biedt het geschikte **vehikel** om op **zoek** te gaan naar concrete manieren om Edge te gaan toepassen en te vermarkten. Deze zoektocht zal Vlaanderen in staat stellen om:

- Een enorme hoeveelheid **kennis** te vergaren – rond bv. AI on the Edge, Tiny Machine Learning, enz. – die vervolgens kan aangewend worden bij de ontwikkeling van nieuwe en **innovatieve diensten en producten**, waarvan Solid het meest recente voorbeeld is. Deze producten en diensten kunnen vervolgens vanuit Vlaanderen wereldwijd in de markt gezet worden;

- Voorbereid te zijn op de adoptie van de volgende golven aan **technologische evoluties** (web 3.0, industrie 4.0, enz.);
- Een **unieke positie** binnen Europa te verwerven als **expertisecentrum**;
- Een competitief voordeel uit te bouwen ten opzichte van grote mogendheden als de Verenigde Staten en China.

"AI on the Edge – oftewel kleinere AI-algoritmes die geschikt zijn om te draaien op kleinere toestellen - betekent voor Europa dé kans om terug mee te doen."

*In Amerika en Azië ligt de focus nog steeds op het bouwen van
alsmaar grotere en sterkere AI-algoritmen die steeds grotere
hoeveelheden ruwe data kunnen verwerken"*

Erik Mannens, Director IDLab – onderzoeksgroep imec en Universiteit Antwerpen & professor
Sustainable AI – Universiteit Antwerpen

3.2.1 Uniek Vlaams ecosysteem

Het Vlaamse ecosysteem bevat enkele fundamentele **initiatieven** die *enablers* kunnen vormen voor **onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's** rond Edge Computing.

- **Het Datanutsbedrijf** ambieert om een steunpilaar te vormen voor de Vlaamse economie en samenleving. Als **neutrale derde partij** en **katalysator** voor innovatieve initiatieven en het stimuleren van **economische** en **sociale welvaart**. Door de rol van een **intelligente facilitator** op te nemen m.b.t. data(deling) wil het datanutsbedrijf een **gelijk speelveld** creëren voor alle publieke en private spelers binnen de huidige data gedreven economie. Finaal is de betrachting om **data** te **herleiden** tot een **gestandaardiseerde nutsvoorziening**, zoals bv. ook elektriciteit, waarbij uniforme regels, standaarden en protocollen gelden voor iedereen en data kan vloeien onafhankelijk van de leverancier(s).
- **Het Solid-initiatief** beoogt het **vertrouwen** van **burgers** in de **data-economie te versterken**, waarbij burgers **controle** hebben over hun data om deze efficiënter en veiliger te delen en te beheren. Solid biedt burgers en ondernemingen een **digitale kluis** voor persoonsgegevens, zodat persoonsgegevens veiliger en transparanter digitaal kunnen worden gedeeld. Het Solid-initiatief is dus zodanig ontworpen dat het de datastroom net zou moeten stimuleren en dit om de eenvoudige reden dat **burgers** er net bij gebaat zijn om hun **persoonlijke data** - in ruil voor data-gestuurde diensten – gericht **te delen**. In de toekomst zullen de **Solid pod's** zo dicht mogelijk bij de gebruiker zelf geplaatst moeten worden, wat uiteraard de nodige **technische infrastructuur** en afdoende lokaal verwerkingsvermogen vereist en volledig in lijn ligt met de Edge Computing filosofie. (cf. Edge Computing).
- **De Vlaamse Smart Data Space** zorgt voor de **duurzame publicatie** en **raadpleging** van **(sensor)data** en hun contextinformatie, waarbij het uitgangspunt een decentrale en interoperabele architectuur vormt. Concreet wordt er gefocust op de publicatie van data volgens de **Linked Data Event Streams (LDES) standaard**, voor data die afkomstig is van (i) verschillende meetpunten en (ii) frequente updates van de metingen behoeven, zoals bv. **luchtkwaliteits- of mobiliteitsdata**.
- **OSLO (Open Standaarden voor Linkende Organisaties)**: ontwikkelt en publiceert eenduidige **open standaarden** in co-creatie met publieke of private partners voor het uitwisselen van informatie tussen verschillende toepassingen. De **interoperabiliteit** en **portabiliteit** van data vormt een hoeksteen van Edge Computing, wat maakt dat het OSLO-initiatief een belangrijke *enabler* is voor Edge Computing in Vlaanderen.

- **Vlaams AI-onderzoeksprogramma** dat inzet op de succesvolle adoptie van AI in Vlaanderen. Één van de grote uitdagingen die binnen dit programma onderzocht wordt, is het streven naar *'resource efficiënte AI'*, wat tevens van hoge relevantie blijkt in de context van Edge Computing.

Het **Datanutsbedrijf** en het **Solid-initiatief** laten toe om **data** volgens vaste spelregels en in vertrouwen te gaan **delen**. Via **OSLO** wordt voorzien in **standaarden** die het technisch mogelijk maken om data te delen en aanvullend ook het kruisen van databronnen te vereenvoudigen. Tot slot voorziet het **Vlaamse Smart Data Space** initiatief platformen om de data te gaan ontsluiten. De combinatie van al deze verschillende initiatieven maakt dat een efficiënte, veilige en betrouwbare datadeling en -ontsluiting tot stand kan komen in Vlaanderen.

3.2.2 Onderzoeks- & ontwikkelingsprogramma's rond Edge Computing in Vlaanderen

Hoewel Vlaanderen een hoge maturiteit heeft inzake Data Tech, innovatie en microchip technologie, staat **Onderzoek & Ontwikkeling (O&O)** rond Edge Computing nog in zijn **kinderschoenen**. In verschillende (niche)sectoren worden reeds (kleinschalige) onderzoeken gevoerd, maar deze blijken zeer **gefragmenteerd** en nog niet of te weinig gelinkt aan mekaar. Onderstaand wordt een niet-exhaustief overzicht geboden van enkele **lopende initiatieven** binnen Vlaanderen die concreet wensen in te spelen op de opportuniteiten inzake Edge Computing.

- **AI-programma Vlaanderen:** Door zelf een leidende rol op te nemen in de ontwikkeling en implementatie van AI kan Vlaanderen er ten volle de economische en maatschappelijke vruchten van plukken. Binnen het eerste luik van het AI-programma, dat focust op top AI-strategisch basisonderzoek, wordt er onder meer ingezet op de **energie-efficiëntie van AI** 'aan de rand' (*at the edge*).
- **Mobilidata** is een programma om de mobiliteitsinformatie afkomstig van weggebruikers, infrastructuur, voertuigen, apps en overheidssystemen naar één verzamelpunt te leiden en vervolgens geanonimiseerd en in real-time beschikbaar te stellen via slimme verkeersinfrastructuur.
- **Time Sensitive Networking:** een initiatief van IDLab Gent en imec waarbij gefocust wordt op het verbinden van alle machines op een specifiek fabrieksterrein.
- **Edge Computing orchestration onderzoek (imec & IDLab UA & IDLab UGent):**
- **3rd generation Neural Networks for Far Edge Computing (imec & IDLab UA):** Een volgende generatie van neurale netwerken, gebaseerd op verdere inzichten in de werking van het menselijk brein, waarbij het elementaire computationeel element niet meer gebaseerd is op vermenigvuldigingen en optellingen zoals bij de huidige AI neurale netwerken, maar op het rekenen met "spikes" zoals in het brein. In combinatie met specifieke hardware (imec) kan dit leiden tot grote winsten zowel op het vlak van minder energie verbruik, als snellere reactietijden.
- **Edge computing test beds:**
 - In Antwerpen: automotive & logistics
 - In Gent: industry 4.0
- **Extreem edge computing (IDLab UA) & Tiny ML (Leuven)**

3.3 Uitdagingen voor Edge Computing in Vlaanderen

De potentiële voordelen van Edge Computing zijn ondertussen wel duidelijk, net als de *drivers* en noodzakelijke voorwaarden voor deze (r)evolutie, evenals ook de unieke positie van Vlaanderen. Het is eveneens duidelijk dat de shift die Edge Computing met zich meebrengt gepaard gaat met nog talloze – tot op vandaag – onbeantwoorde vragen gaande van de **maatschappelijke impact** (impact op het dagdagelijkse leven van de burger), over de meer **technische vraagstukken** (interoperabiliteit, dataportabiliteit, databaseiligingsmethodieken, verwerkingsvermogen, enz.) tot de **economische** (nieuwe business modellen en samenwerkingsverbanden tussen overheid en de private sector) en bestuurlijke

invalshoek (regelgeving, investeringen, enz.). Ondanks de maturiteit van Vlaanderen echter staat de Edge Computing nog aan de vooravond van verdere exploitatie en zijn er ook binnen het Vlaamse ecosysteem momenteel nog geen afdoende antwoorden op deze vragen. Vandaar dient er vanuit het Europese en Vlaamse beleid en de markt de komende jaren gecoördineerd ingezet te worden op de aanpak van elk van deze vraagstukken. Hieronder worden een aantal belangrijke **uitdagingen** opgesomd die aangepakt moeten worden om het onmiskenbare **potentieel** van Edge Computing zo maximaal mogelijk **te realiseren** en de toepassing hiervan binnen Vlaanderen verder te exploiteren.

- **Visie, strategisch kader en bijhorend governance-model & actieplan**

Vlaanderen dient een **brede** en **gedragen visie** te ontwikkelen rond Edge Computing, waarin de belangrijkste toekomstige uitdagingen m.b.t. de verdere valorisatie en exploitatie van Edge Computing, met daaraan gekoppeld een **strategisch kader** en publiek-privaat **governance-model en actieplan** voor de uitvoering en realisatie van deze visie. Hiervoor kan inspiratie gehaald worden uit de aanpak en het opzet van het Vlaams AI-programma. Finaal dient dit bij te dragen tot de ontwikkeling van een **ecosysteem** waarin **onderzoek** naar Edge Computing kan **floreren** en de concrete uitwerking van **innovatieve toepassingen** kan gedijen.

Aanvullend, vraagt de omgeslag naar Edge Computing ook wel een aantal (zware) **investeringen** en dus lijkt het noodzakelijk om voor elke investeringspijler een **Edge business case** op te maken waarin bekeken wordt of de investering in Edge Computing de moeite waard blijkt. Zo is één van de belangrijkste voordelen van Edge Computing de gereduceerde reactiesnelheid. Vlaanderen is echter relatief klein en gegeven dat een fysieke afstand van 300km ongeveer gelijk staat aan 1 milliseconde tijdswinst, dienen er inschattingen gemaakt te worden om te bepalen in welke mate deze tijdswinst opweegt tegen de investeringen die daarvoor noodzakelijk zijn. De investeringen en strategische speerpunten dienen dus gebundeld te worden in een **weldoordacht strategisch plan op de middellange termijn**.

- **Onderzoek en ontwikkeling naar Edge Computing**

Vlaanderen kan gebruik maken van zijn hoge maturiteit rond Data Tech om gericht onderzoek uit te voeren rond Edge Computing waarbij een aantal zwaktes kunnen weggewerkt worden. Onderstaand wordt een kort overzicht geboden van enkele van de voornaamste onderzoeks- en ontwikkelingsdomeinen:

- **AI-algoritmes** dienen **verfijnd** te worden zodat deze kunnen **functioneren op Edge toestellen**, *tiny devices*, *Edge Clouds*, enz. die slechts over een fractie van de rekenkracht en energieconsumptie beschikken die aanwezig is in grote datacenters (waar de AI-modellen nu draaien).

“De tijd van de grote AI-modellen – getraind o.b.v. enorme hoeveelheden data - ligt achter ons, dé differentiator voor de toekomst schuilt in de uitrol van ‘compactere’ AI-modellen op maat van de industrie, waarbij het nodig is om de dataverwerking zo dicht mogelijk bij de bedrijfslocatie of eindgebruiker te plaatsen.”

Michael Peeters – V.P. R&D for Connectivity bij Imec

- De **technische uitwerking** van het **Federated Learning model** dient onderzocht en breder uitgerold te worden, waarbij lokale AI-algoritmen aangeleerde kennis voeden aan het centrale AI-model en vice-versa.
- Edge toestellen, *tiny devices*, IoT-apparaten en Edge Clouds moeten allemaal uitgerust kunnen worden met de juiste technische voorzieningen, zodanig dat ze eenvoudig met elkaar **kunnen**

communiceren en data delen (**interoperabiliteit**) en daarenboven eventueel ook uitgerust kunnen worden met een decentrale **datakluis** (cf. Solid) en voldoende beschermende **cyberbeveiligingsmaatregelen**. Dit vergt heel wat meer functionaliteiten en voorzieningen ten opzichte van de huidige generatie IoT-apparaten.

- De opwaardering en stapsgewijze uitrol van **decentrale Edge en verwerkingsknooppunten**, om de concrete verankering van Edge infrastructuur in Vlaanderen te faciliteren.

“De belangrijkste investeringen dienen te gaan naar (i) onderzoek om AI te laten draaien op Edge toestellen en (ii) de stapsgewijze uitrol van Edge verwerkingsknooppunten en infrastructuur.”

Michael Peeters – V.P. R&D for Connectivity bij Imec

- Het ontwikkelen van zo **goedkoop mogelijke chips**, zodanig dat het economisch haalbaar wordt om chips in te zetten voor een beperkte tijd (dagen of zelf uren), wat relevant blijkt in functie van diverse use cases en toepassingen.
- Uitwerken van nieuwe **brein-geïnspireerde algoritmes**, die kunnen werken met nog minder rekenkracht, een hogere reactiesnelheid toelaten, en zichzelf kunnen aanpassen aan veranderende omstandigheden (bv drift van sensoren, verschillende belichting, ...)
- Co-design van **nieuwe chips** en aangepaste AI algoritmes, die samen winst kunnen boeken op vlak van energieconsumptie en kosten.
- Het integreren van **AI componenten dicht bij sensoren** (near-sensor AI), om zo meer flexibele en slimmere sensoren te bouwen, die kunnen ingezet worden in een brede waaier van toepassingen met lager energieverbruik, lagere vereiste bandbreedte, en kleinere centrale AI modellen als gevolg.
- De creatie van een **privacy / Data bescherming (DP)** kader dat bestaande regulering specificeert in functie van de Edge context.

- **Uitrol van adequate (netwerk)infrastructuur**

De cruciale rol die een kwalitatief en voldoende sterk netwerk heeft binnen Edge Computing is inmiddels duidelijk. De uitbouw en realisatie van dit netwerk vereist echter een goed **uitgebouwde infrastructuur**. De huidige Vlaamse aanbieders en hun bestaande infrastructuur (bv. telecom) zijn hier nog niet (voldoende) op voorzien. Het zal dan ook enorme investeringen vragen in zowel **5G-infrastructuur** als in **fibernetwerken** (glasvezel) om dit mogelijk te maken.

- Vlaanderen loopt op het vlak van (de adoptie van) 5G achter door de problemen die er geweest zijn met de **spectrumveiling**. De veiling is ondertussen wel afgerond, waarbij de federale overheid in tegenstelling tot bv. Nederland geopteerd heeft om geen deel(tje) van het spectrum gereserveerd te houden voor lokale spelers. Deze dienen zich te wenden tot Cegeka (via CityMesh) – als een soort 3^{de} partij – die een deel van het aan hen toegewezen spectrum kan toewijzen aan lokale ondernemingen voor B-2-B activiteiten. Bedrijven kunnen ook aankloppen bij de grote operatoren met de vraag om een deel van hun gekocht spectrum te mogen gebruiken (**5G slicing**), waarbij de operator dan een deel van zijn/haar capaciteit benut voor dat specifieke bedrijf en/of applicatie.
- Het connecteren van de verschillende toestellen gebeurt voornamelijk via draadloze verbindingen. Het **fibernetwerk** is echter even geschikt in het kader van de communicatie en data-uitwisseling tussen Edge Clouds en datacenters en tussen Edge Clouds onderling.

Daarnaast, dient er ook blijvend ingezet te worden op de uitrol van **intermediaire dataverwerkingsknooppunten** en andere **decentrale Edge infrastructuur** in Vlaanderen.

- **Regelgevend kader**

Het regelgevend kader rond Data Tech en Big Data in Vlaanderen is op mondiaal niveau vooruitstrevend te noemen. Vanuit Europa staan de volgende ingrijpende wetgevende veranderingen (i.e. de Data Governance Act en de Data Act – zie ook hoofdstuk 3.1.1) echter al voor de deur en de (technologische) vooruitgang blijft aan een ongekend snel tempo verder evolueren, waardoor de regelgeving gedoemd lijkt om telkens achterop te hinken. Daarenboven is reeds gebleken dat het aanpassen en opleggen van regelgeving aan multinationals – zoals de GAMMA's – niet vanzelfsprekend is (bv. invoering van de universele lader voor smartphones). Een **sterk, voldoende breed en flexibel regelgevend kader** is vereist om duidelijke **spelregels** en **krijtlijnen** omtrent data uit te tekenen. Dit lijkt een geschikte taak voor het Vlaamse Datanutsbedrijf.

- **Adoptie**

Eens Edge Computing door technologische ontwikkelingen, aangepaste regelgeving en verbeterde infrastructuur op grote schaal mogelijk zou zijn, dienen uiteraard voldoende **burgers** en vooral **bedrijven** hiermee aan de slag te gaan, wat bij heel wat (revolutionaire) technologische ontwikkelingen een helse uitdaging blijkt. Zo zouden **voortrekkersbedrijven** op **sectorniveau** de handen in elkaar moeten durven slaan om data beter te laten stromen en binnen concrete **use cases** innovatieve op Edge Computing gebaseerde **toepassingen** te ontwikkelen en te vermarkten.

Een goed doordachte **adoptiestrategie** kan dus best van bij de onderzoeks- en ontwikkelingsfase meegenomen worden, waarin ook voldoende stilgestaan wordt bij het aanreiken van **basiskennis** en **geletterdheid** omtrent IoT, AI en het Cloud-to-Edge Computing spectrum via gerichte **opleidingen** en **bewustmakingscampagnes**. Hierbij is het essentieel dat niet louter gefocust wordt op de digitaal onderlegde lagen van de samenleving, maar dat er voldoende rekening gehouden wordt met de **'zwakkere' doelgroepen**. Daarnaast zal Vlaanderen ook kunnen leren uit de reeds lopende / gelopen trajecten, zoals Solid om te zien op welke manier grootschalige adoptie gerealiseerd kan worden en wat de voornaamste struikelblokken zijn.

"Om een voldoende brede adoptie te bekomen en te behoeden voor perverse effecten van technologie, dient er bij het testen van nieuwe technologieën stevast gefocust te worden op de zwakkere, kansarme en gemarginaliseerde bevolkingsgroepen (= Lead Theory)."

Ethan Zuckerman – Directeur van het MIT Center for Civic Media en Associate Professor of the Practice in Media Arts

4 Scenario's voor Vlaanderen

Deze nota heeft inzicht verschaft in de drijvende krachten voor verandering binnen Big Data & computing en geschetst welke opportuniteiten de shift van Cloud Computing richting Edge Computing de komende jaren verder zal helpen realiseren. Tevens werd uiteengezet hoe deze evolutie zich verhoudt ten opzichte van de initiatieven die momenteel uitgerold worden op Europees en Vlaams niveau. Dit hoofdstuk wil de opgedane inzichten uit het eerste deel van deze nota verder concretiseren door een **3-tal toekomstscenario's** naar voor te schuiven omtrent hoe Vlaanderen zich kan positioneren en de vruchten kan plukken van de geschetste veranderingen, evoluties en opportuniteiten. De finale doelstelling hiervan is om het politiek en maatschappelijk **debat op gang te brengen**, een basis te leggen voor de uitrol van sector- en use cases gedreven **samenwerkingsmodellen** tussen de markt en de overheid en de geesten verder te laten rijpen inzake **welke rol er weggelegd ligt voor Vlaanderen** binnen deze nieuwe technologische trend.

4.1.1 Scenario 1: Vlaanderen temporeert

Vlaanderen beslist om de komende jaren geen prioriteit te maken van Edge Computing en zich verder te richten op de reeds bestaande en lopende initiatieven. Dit zou concreet betekenen dat Vlaanderen de komende jaren op vlak van *Data Tech en computing* haar hoge ambities deels terugschroeft, daar waar Vlaanderen momenteel veeleer als '**frontrunner**' beschouwd kan worden. Eveneens zou deze temporisatie van de initiatieven ook inhouden dat de **Vlaamse overheid** opteert om een meer **passieve** en **reactieve** rol aan te nemen. Hierdoor zal de regelgeving achterlopen op de technologische en maatschappelijke vooruitgang en zal het **volwaardige potentieel** van initiatieven als Solid en het Datanutsbedrijf **onontgonnen** blijven. Tot slot, zal de uitdijende centralisatie binnen Cloud-systemen niet verder uitgedaagd worden, waarbij de (apparaten van de) Big Tech bedrijven alsmaar dieper in de huiskamer van de Vlaamse Burger en de (fabrieks)gebouwen van Vlaamse bedrijven zullen binnendringen, die zich eigenaar zullen maken van heel wat (persoonlijke) data die niet beschikbaar gemaakt wordt voor de vele start- en scale-ups en KMO's in Vlaanderen. Verschillende **use cases** die praktisch **onoplosbaar** zijn zonder decentralisatie, zullen niet of te weinig systematisch en gecoördineerd vanuit de Vlaamse industrie opgepikt worden en de **innovatiecapaciteit** en **concurrentiepositie** van de Vlaamse bedrijven zal **niet (verder) versterkt worden** ten opzichte van de **grote mogelijkheden** van deze wereld.

4.1.2 Scenario 2: Vlaanderen accelereert

Vlaanderen en de Vlaamse overheid beslissen om het **onderzoek** naar Edge Computing en de **ontwikkeling** van innovatieve op Edge gebaseerde toepassingen een extra **stimulus** toe te dienen. Vlaanderen maakt hiermee duidelijk zich bewust te zijn van de **unieke positie** waarin het zich bevindt en toont de ambitie om die te bestendigen naar de toekomst en verder te exploiteren. Dit zal Vlaanderen op de middellange termijn in staat stellen om een **voortrekkersrol** te (blijven) vertolken op het vlak van **Data Tech en computing**. Hiervoor dienen de diverse uitdagingen rond Edge Computing zoals (cyber)beveiliging, AI-ontwikkeling, Federated Learning en adoptie aangepakt te worden met als finale doelstelling om via de verworven kennis **innovatieve Edge toepassingen** en applicaties te ontwikkelen en uit te rollen in Vlaanderen én te vermarkten naar de rest van de wereld.

De realisatie van dit scenario vereist **inspanningen** op **verschillende niveaus**, waaronder onderzoek, infrastructuur, samenwerking en regelgeving:

- **Onderzoek:** Gelet op de brede impact die Edge Computing kan genereren in tal van sectoren, op diverse technische en economische aspecten en op het vlak van duurzaamheid, zal een

onderzoeksstrategie ontwikkeld moeten worden die ingebed zit in een **breder visie, strategie en actieplan** rond Edge Computing op de korte, middellange en lange termijn. Hierin dienen duidelijke **onderzoeksprioriteiten** naar voor geschoven te worden waarvan het ecosysteem overtuigd is dat dit de prioriteiten zijn waarop de overheid, bedrijven & industrie en onderzoeks- & kennisinstellingen willen focussen de komende jaren. Deze onderzoeksprioriteiten kunnen gebundeld worden in een **Edge-programma** – naar het voorbeeld van het AI-programma – dat gedragen en uitgevoerd wordt door het ecosysteem en via toegepast onderzoek de brug legt met de reeds bestaande 'initiatieven, zoals SOLID, DNB, OSLO en het AI-programma.

- **Infrastructuur:** Investerings in infrastructuur zullen vereist zijn (zie hoofdstuk 3.3. Netwerkinfrastructuur). Hierbij kan in eerste instantie gefocust worden op het ter beschikking stellen van voldoende **infrastructuur** om verschillende **testbeds** en **living labs** op te zetten om op kleine- en middelgrote schaal Edge Computing te gaan ontplooiën en uittesten. Dit vereist enerzijds de realisatie van een voldoende uitgebreide en kwalitatieve **netwerkinfrastructuur** (5G, fiber, enz.). Anderzijds zal er ook nood zijn aan de **uitrol** van Edge infrastructuur (waaronder de aanleg van **intermediaire / decentrale verwerkingsknooppunten**). De eerste 'testbedden' zijn reeds gerealiseerd in Vlaanderen, bv. Mobilidata en het Vlaamse 'Smart Highway'-project (de smart road Infrastructuur langs de E313), maar als volgende stap dienen ook **andere sectoren** aan de slag te gaan met het opzetten van dergelijke testen voor specifieke use cases binnen hun sector.
- **Samenwerking:** Op niveau van samenwerking lijkt een nauwe samenwerking vanuit de Vlaamse Overheid met de **strategische onderzoeksinstellingen** (imec, VITO, etc.) en **universiteiten** een logische stap en een verderzetting van het reeds gecreëerde ecosysteem rond o.a. Solid. Daarnaast kan het echter ook interessant zijn om dit ecosysteem verder uit te breiden met verschillende **lokale privébedrijven**, waarvan er telkens een aantal '**vaandeldragers**' of '**innovatoren**' een voortrekkersrol kunnen opnemen om binnen hun sector rond specifieke Edge use cases aan de slag te gaan en tests en initiatieven uit te rollen. Met betrekking tot dergelijke vaandeldragers wordt er onder meer gedacht aan lokale spelers als Cronos, Telenet, maar ook de Haven van Antwerpen & Zeebrugge, Cegeka, ArcelorMittal, ITS, DPG Media, enz. Sector per sector kan op deze manier een **coalition of the willing** gevormd worden onder leiding van één of meerdere vaandeldragers. Belangrijk hierbij zal zijn om per sector ook een duidelijk **governance-model** uit te tekenen dat heldere regels en krachtlijnen uitstippelt voor de publiek-private samenwerking en een duidelijke meerwaarde formuleert voor alle betrokken partijen. Deze

“Telenet heeft interesse in een eventuele samenwerking met de overheid en andere stakeholders om als ‘vaandeldrager van innovatie’ concrete toepassingen te ontwikkelen in lijn met de filosofie van Edge Computing, op voorwaarde dat de meerwaarde / rol voor alle partijen voldoende duidelijk is”

Stijn Eulaerts – Director Product Management bij Telenet

aanpak zal een gunstig effect hebben op onder meer de **adoptie, opschaling** en **uitrol** van de Edge toepassingen die in de schoot van het ecosysteem ontwikkeld worden.

- **Regelgeving:** De regelgeving is een essentiële factor in het kader van de ontwikkeling en de uitrol van Edge Computing en Edge toepassingen. **Structurele dialoog** tussen de overheid en het economisch weefsel dat aan de slag gaat met Edge Computing zal dan ook een minimum zijn zodat er een **gedragen zicht** ontstaat omtrent de noden en de ervaren hinderpalen op regelgevend vlak. Op deze manier kan de **regelgeving parallel met de technologische vooruitgang** evolueren en wordt innovatie aangemoedigd in plaats van (verder) gefnuikt. Daarenboven dient ook verder ingezet te worden op de maximale aansluiting en alineëring van de **lokale of regionale wetgeving**

met het (snel) evoluerende **regelgevend kader van de Europese Unie** (GDPR, Data Act, Data Governance Act, enz.). Zonder afdoende financiering kan al het bovenstaande nooit integraal gerealiseerd worden. Een **financiële commitment** op de **middellange termijn** – overheen aflopende legislaturen en korte termijn begrotingen heen lijkt dan ook een noodzakelijke vereiste.

Edge Computing in Vlaanderen staat nog voor enkele **onmiskerbare uitdagingen** die **structureel** (via een gedragen visie & strategie), **gecoördineerd** (via publiek-private samenwerking en betrokkenheid ecosysteem) en gericht op de **middellange termijn** (via voldoende financieringscontinuïteit en investeringen in infrastructuur) aangepakt moeten worden. Binnen dit scenario maakt Vlaanderen werk van het aanpakken van deze uitdagingen, waarbij het de ontwikkeling en ontplooiing voldoende kansen geeft en zichzelf positioneert om op Europees en mondiaal niveau een **frontrunner** te blijven. Daarenboven verzekert Vlaanderen zich via deze aanpak ook van de mogelijkheid om in de toekomst nog verder te versnellen mochten Edge toepassingen hun meerwaarde bewijzen of zelfs overstijgen.

4.1.3 Scenario 3: Vlaanderen excelleert

Vlaanderen beschouwt Edge Computing als de **opportuniteit** om hun **uitgesproken ambities** in het **Regeerakkoord** (onder andere ook met de lancering van **FTI**) verder **kracht bij te zetten** en mogelijks zelfs te overstijgen. De Vlaamse overheid zal een **proactieve rol** blijven opnemen (i.e. Solid en DNB) inzake het debat rond Data Tech, met als ultieme doel de bescherming van de Vlaamse burgers en bedrijven. De ambitie is dan het verder uitbouwen van de 'voorsprong' die verworven is door Vlaanderen en het **vermarkten** van de **Vlaamse innovaties op wereldschaal**. In vergelijking met scenario 2 zal Vlaanderen hiervoor niet enkel inzetten op fundamenteel en toegepast onderzoek naar Edge Computing, maar tevens voorzien in het vereiste **flankerende beleid**. Dit beleid dient in te zetten op het voorzien van het juiste wetgevende kader en het creëren van een **gunstige context** waarin alle relevante actoren (overheden, kennisinstellingen, Vlaamse bedrijven, multinationals en burgers) meerwaarde kunnen puren uit een structurele samenwerking. De idee van flankerend beleid is dat het beleid niet ontwikkeld of aangepast wordt eens een bepaalde technologische ontwikkeling gerealiseerd is en dient uitgerold te worden, maar dat het **beleid parallel** met de ontwikkeling aangepast en uitgevoerd wordt. Via deze **geïntegreerde en integrale aanpak** kan Vlaanderen zowel de proeftuin van Europa worden op het vlak van Edge Computing, Industrie 4.0/5.0, Web 3.0, geconnecteerde en autonome mobiliteit, enz. als de bakermat van een meer **ethische** en **duurzame visie op datatoegang en -beheer**.

De realisatie van dit scenario vereist inspanningen op verschillende niveaus zoals onderzoek, infrastructuur, samenwerking en regelgeving:

- **Onderzoek:** In lijn met de aanbeveling in scenario 2 lijkt een **Edge-programma** dat de brug kan leggen met de reeds bestaande programma's en fundamenteel onderzoek aangewezen. Hierbij dient er ingezet te worden op de integratie van de Solid-technologie in *tiny devices*, de ontwikkeling van kleinere AI-algoritmes op maat van de industrie, het testen van de rol van 5G, de verdere facilitatie van semantische interoperabiliteit en dataportabiliteit, zonder de tussenkomst van de Cloud, enz. De Vlaamse Overheid en het Datanutsbedrijf waken hierbij over de uitvoer van de verschillende programma's en projecten en de match met de vooropgestelde strategie en doelstellingen. Daarenboven kan het Datanutsbedrijf samen met het ecosysteem ook een rol spelen bij de validatie en het uitdragen van onderzoeksresultaten.
- **Infrastructuur:** Het ter beschikking stellen van voldoende infrastructuur voor de opzet van testbeds en livinglabs (cf. scenario 2) zal een noodzakelijke eerste stap zijn. In parallel dienen echter ook initiatieven genomen te worden om de **grootschalige uitrol** van de vereiste infrastructuur in Vlaanderen te stimuleren en te bewerkstelligen. Dit door in **overleg** te gaan met de *coalition of the willing* per sector en samenwerkingen uit te bouwen en een **gemeenschappelijk afsprakenkader** te ontwikkelen rond de verdere uitrol van netwerkinfrastructuur en lokale verwerkingsknooppunten. Daarenboven dient ook de vereiste **technische infrastructuur** voorzien te worden in functie van **interoperabiliteit** en **dataportabiliteit** (OSLO, Solid, enz.). De grote uitdaging m.b.t. infrastructuur is de lange **afschrijftijd** die met dergelijke investering gepaard gaat (vaak 20-30 jaar) wat maakt dat de transitie richting slimme infrastructuur een zekere **doorlooptijd** en continuïteit zal vergen. Er dienen dus tevens afspraken gemaakt te worden rond prioritaire

infrastructuurwerven (wegen, bruggen, enz.) waarbij beslist kan worden om telkens van die opportuniteit gebruik te maken om niet enkel de infrastructuur te herstellen, maar deze ook

"De weg naar een digitale overheid begint niet met technologische beslissingen, maar met het voorzien van de juiste contextuele omstandigheden"

Dr. Susana Cordeiro Guerra (KPMG) – Voices on 2030: Digitalizing government

slimmer te maken.

- **Samenwerking:** De samenwerking tussen de Vlaamse Overheid, strategische onderzoeksinstituten en privébedrijven (cf. scenario 2) dient in lijn met de geïntegreerde aanpak en in functie van een verdere opschaling en uitdraging op Europees en mondiaal niveau **versterkt** te worden met **globale tech spelers** zoals bv. Microsoft en/of Philips en andere bedrijven die actief zijn binnen Vlaanderen. Een dergelijke samenwerking bestaat reeds voor verkennend onderzoek naar het potentieel van een gedecentraliseerde identiteit en gedeelde data-ecosystemen. Hierbij heeft reeds een kennisuitwisseling plaatsgevonden tussen Microsoft en de Vlaamse overheid met de bedoeling de complementariteit vast te stellen en te implementeren in een specifieke use case. Deze samenwerking dient echter verder uitgebreid te worden en ook andere **samenwerkingsverbanden** dienen uitgebouwd te worden. De betrokken bedrijven en bij uitbreiding de volledige governance die opgezet wordt, kan variëren naargelang de sector en de specifieke use cases die uitgewerkt worden (i.e. voorstel in scenario 2 om een *coalition of the willing* te verzamelen per sector / use case).
- **Regelgeving:** Aanpassing van de regelgeving is essentieel in functie van ontwikkelingen en implementatie (cf. scenario 2). Flankerend beleid gaat echter verder dan dat. Hierbij zal de overheid een **meer proactieve rol opnemen** waarbij **kritisch** en **vooruitziend nagedacht** wordt over de **regelgeving**. Zo is het wenselijk om in lijn met de opportuniteiten en vooruitzichten die Edge Computing biedt reeds een **herziening** uit te voeren van de relevante nationale en regionale wetgevingen. Verder is een maximale **alineëring** met de **EU regelgeving** (Data Act & Data Governance Act) – die momenteel in het licht van Edge Computing ook aan een 2^{de} lezing onderworpen wordt – vereist zodanig dat Vlaanderen maximaal kan anticiperen. Daarenboven dient er nagedacht te worden over de mogelijkheden op regelgevend vlak om toekomstige Edge toepassingen voldoende te reglementeren om misbruik zoals bij Cloud Computing (o.a. ongelijk speelveld) te vermijden. Tot slot zal de regelgeving ook een rol vervullen bij het opleggen en **afdwingen** van **technische vereisten** die maken dat gegenereerde data uit elk mogelijk toestel of applicatie maximaal **interoperabel** is.

Dit scenario vereist net als scenario 2 een **financiële commitment** op de **middellange termijn**. De focus ligt hierbij enerzijds op het vrijmaken van voldoende middelen in het kader van fundamenteel en toegepast onderzoek. Anderzijds dient er binnen dit scenario ook afdoende financiële en menselijke middelen (binnen de overheden) voorzien te worden i.f.v. de uitwerking en realisatie van het **flankerend beleid**.

Via flankerend beleid wordt vermeden dat de 'push' rond Edge Computing louter vanuit een academische / technologische invalshoek gedreven wordt en dat losse initiatieven en sectorale programma's te weinig geconnecteerd blijven. Het flankerend beleid zal er op deze manier voor zorgen dat de meerwaarde voor alle stakeholders duidelijker wordt, wat essentieel is in functie van adoptie. De uitvoering van de inspanningen die geschetst zijn binnen dit scenario zullen Vlaanderen in staat stellen om hét **expertisecentrum** bij uitstek en één van de grootste living labs van Europa te worden wat betreft data tech en Edge Computing.

5 Conclusie en samenvattende nota

Meer en meer wordt persoonlijke en industriële data op grote cloud servers bewaard en verwerkt. Hoewel dit een aantal voordelen heeft op vlak van efficiëntie, dringt het besef door dat er ook significante nadelen aan deze aanpak zijn. Op vlak van privacy, transparantie, duurzaamheid en energiegebruik, economische monopolievorming zijn er grote risico's verbonden aan een doorgedreven cloud-aanpak. De voorliggende studie heeft een alternatieve en additionele aanpak onderzocht, namelijk die van edge computing.

Edge computing verwijst naar de praktijk van het verwerken van gegevens en het uitvoeren van berekeningen bij de bron van die gegevens, in plaats van op een gecentraliseerde locatie zoals een cloud datacenter. Bij edge computing wordt de data verwerkt door apparaten aan de "rand" van het netwerk, zoals dat momenteel reeds gebeurt bij smartphones, routers, sensoren. Vele andere technologische toepassingen (verkeerslichten, medische apparatuur, logistiek, industriële machines, domotica,...) hebben ook nood aan edge computing, in plaats van data enkel naar de cloud te sturen voor verwerking. De hoeveelheid technologische toestellen in onze maatschappij en economie (soms niet groter dan op chipschaal) zal enorm toenemen de komende jaren, en een aanpak zoals edge computing is cruciaal om dit schaalbaar, veilig en maatschappelijk verantwoord mee vorm te geven.

De studie van Digitaal Vlaanderen i.s.m. imec & KPMG *"Edge is the new Cloud"* toont aan dat edge computing een enorm beloftevol puzzelstuk kan vormen bij de aanpak van complexe maatschappelijke en economische vraagstukken. Deze studie geeft aan dat edge computing zich niet beperkt tot rekenkracht dicht bij de gebruiker te plaatsen. Inderdaad, via een integrale aanpak, startend vanuit het geïntegreerd ontwikkelen van hardware én software in één chip, en via digitale datakluizen, kunnen we komen tot vooruitstrevende technologische toepassingen. Uit de studie blijkt ook dat dergelijke integrale aanpak op een duurzame manier een antwoord kan bieden op de nood aan databescherming en -controle, het belang van duurzaamheid, reactiesnelheid en cybersecurity, enz. De intrede van edge computing, die trouwens versneld wordt door de mogelijkheden van 5G en 6G, kan een grote meerwaarde bieden. Bovendien kadert dit in voorvermelde internationale trend waarbij – na decennia van data-centralisatie – er een corrigerende actie is richting decentralisatie.

De studie geeft ook aan dat edge computing duidelijk een facilitator vormt voor een aantal belangrijke ambities die door de Vlaamse Regering opgenomen zijn in het Vlaams Regeerakkoord 2019-2024. Dit Regeerakkoord stelt dat namelijk dat *"Vlaanderen smaakmaker en voortrekker moet worden op het vlak van toepassingen in de nieuwe data-economie en artificiële intelligentie. Het optimaal gebruik van data en het openstellen daarvan moet de aandacht krijgen van alle Vlaamse entiteiten, in nauwe samenwerking met de lokale besturen. Hierbij legt de overheid zich toe op het verzamelen en ontsluiten van data met respect voor gegevensbescherming en plaatst de burger/ondernemer terug centraal in de regie over zijn eigen data en interacties met de overheid en/of met private dienstverleners. De ontwikkeling van toepassingen en apps op basis van die data wordt overgelaten aan de private markt, zodat zowel overheid als private markt optimaal samenwerken en elk vanuit de eigen sterkte werkt"*.

Deze match tussen edge computing, de toekomstige maatschappelijke uitdagingen en de geformuleerde ambities van de Vlaamse Regering, komt evenzeer tot uiting via de sterke link met andere initiatieven van de Vlaamse Regering, zoals Flanders Technology & Innovation (FTI). De 5 focusdomeinen van FTI (energie en klimaat, gezondheid en voeding, levenslang leren, data en media & entertainment) zijn stuk voor stuk ook domeinen waarbinnen edge computing een groot potentieel blijkt te hebben.

Verder benadrukt de studie dat binnen Vlaanderen een uniek momentum is ontstaan. Hierbij blijken de belangrijkste randvoorwaarden om te excelleren inzake edge computing aanwezig, zowel langs overheidszijde, als langs de kant van de bedrijven, de kennisinstellingen en de universiteiten. In Vlaanderen werd de afgelopen jaren gewerkt aan een uniek ecosysteem over 'data-tech' en 'chip-tech' (geïntegreerd ontwikkelen van hardware en software in één chip) die de regio uniek positioneert om nieuwe spits technologie zoals edge computing maximaal mee vorm te geven en te valoriseren. Voorbeelden hier van zijn het onderzoeksprogramma AI Flanders, SolidLab, athumi (het Vlaamse datanutsbedrijf), standaardiseringsprogramma OSLO, de Belgian Data Spaces Alliance, Europese Testing & Experimentation Facilities (TEF's), maar ook de opgebouwde kennis binnen Vlaamse strategische onderzoekscentra, universiteiten, of binnen het gerenommeerde onderzoekscentrum imec.

Dit Vlaamse ecosysteem is uitermate geschikt om het potentieel van edge computing verder te exploreren en op zoek te gaan naar concrete manieren om nieuwe edge-toepassingen te ontwikkelen, te testen en op internationale schaal te gaan vermarkten. Een uitgelezen opportuniteit om Vlaamse bedrijven een strategische voorsprong te geven via 'data tech'-innovatie, een domein dat enkel maar aan relevantie zal winnen.

Echter, opdat Vlaanderen een voortrekkersrol zou kunnen spelen inzake onderzoek én uitrol van edge computing, dient er een voldoende geïntegreerde aanpak uitgewerkt te worden. Deze moet ingaan op onder andere:

- Data-beschermende gedecentraliseerde artificiële intelligentie algoritmes (e.g. *gefedereerd leren, specifieke tech zoals neuromorphic chips en algoritmes*), om de eigenaars van de data (veel) meer controle over hun data te laten behouden.
- Hoogfrequente datadelingssystemen met oog op een hoge reactiesnelheid. Bestaande datadelingstechnieken klaar maken voor omgevingen waarin duizenden datakluisen op grote schaal en hoogfrequent data delen.
- Duurzame implementatie in hardware. Via unieke chiptechnologie garanderen dat edge computing aan deze hoge kwaliteitseisen kan voldoen met minimaal energieverbruik.

Om deze geïntegreerde aanpak vorm te geven, kan gedacht worden aan een "Edge innovatie-programma". Voor de ontwikkeling van dergelijk programma, lijkt het aangewezen samen met relevante actoren en experts te komen tot een gemeenschappelijke visie en een gedragen prioritering. Die aanbevelingen en prioritaire initiatieven kunnen vervolgens in een coherent en gedragen onderzoeks- en beleidsprogramma gegoten worden.

De studie "Edge is the new Cloud" schuift een aantal duidelijke prioritaire uitdagingen en mogelijke aanpakken naar voor. Die kunnen een duurzaam fundament vormen voor een maximaal gedragen Edge innovatie-programma in Vlaanderen. Deze gezamenlijke aanpak is een uitgelezen opportuniteit om de Vlaamse economie en maatschappij een strategische voorsprong te geven via 'data tech'-innovatie, een domein dat enkel maar aan relevantie zal winnen.

Regeerakkoord input:

Vlaanderen heeft een beloftevol ecosysteem dat Europees leiderschap kan claimen met een alternatieve en additionele aanpak voor monopolie-gevoelige cloud computing, namelijk die van edge computing. De belangrijkste randvoorwaarden om te excelleren inzake edge computing zijn in Vlaanderen aanwezig, zowel langs overheidszijde, als langs de kant van de bedrijven, de kennisinstellingen en de universiteiten. Dit werd uitvoerig onderzocht en beschreven in de studie "Edge is the new Cloud". Dit unieke ecosysteem over 'data-tech' en 'chip-tech' (geïntegreerd ontwikkelen van hardware en software in één chip) positioneert de regio uniek om die nieuwe spits technologie zoals edge computing maximaal mee vorm te geven en te valoriseren. De Vlaamse Regering kiest ervoor om daartoe een geïntegreerde aanpak vorm te geven in een "edge innovatie-programma", als uitgelezen opportuniteit om de Vlaamse economie en maatschappij een strategische voorsprong te geven via 'data tech'-innovatie, een domein dat enkel maar aan relevantie zal winnen.

6 Bijlagen

6.1 Personen die input geleverd hebben voor deze visienota

In functie van de creatie en onderbouwing van deze visienota zijn verschillende experts uit binnen- en buitenland geïnterviewd. Elk van hen heeft specifieke expertise die gaat van het digitaal- en data ecosysteem binnen Vlaanderen en SOLID tot de meest up to date (technische) kennis van de globale trends en onderzoeken m.b.t. Cloud Computing, Edge Computing, 5G, quantum computing, enzovoort. Onderstaand wordt een overzicht geboden van de respondenten, hun functie en hun expertisedomein.

Respondent	Organisatie	Rol / Expertise
Dr. Raf Buyle	<i>Digitaal Vlaanderen, Vlaams Datanutsbedrijf & UGent</i>	Data & Innovatie
Prof. Dr. Steven Latré	<i>Imec & UAntwerpen</i>	Lead A.I. & R&D
Prof. Dr. Lieven De Marez	<i>Imec & UGent</i>	Professor Media, Technology & (User-centric) innovation
Prof. Dr. Ir. Erik Mannens	<i>Imec & UAntwerpen</i>	Director IDLab-UAntwerpen & Professor Sustainable AI
Dr. Ellie D'Hondt	<i>Imec</i>	Digital health expert
Dr. Michael Peeters	<i>Imec</i>	VP R&D Connectivity
Prof Dr. Ethan Zuckerman	<i>Universiteit van Massachusetts Amherst</i>	Associate professor of communication & Information
Bruce Schneier	<i>Inrupt, Inc. & Harvard Kennedy School</i>	Chief of Security Architecture
Stijn Eulaerts	<i>Telenet</i>	Director Product Management – Fixed and Mobile Connectivity
Barbara Van Den Haute	<i>Microsoft</i>	Public Sector Lead
Anna Scott	<i>Intel</i>	IOT Solutions Architect Public Sector - focus on Edge & 5G
Prof. Laur Lemendik	<i>Tallinn University of Technology</i>	Director of Thomas Johann Seebeck Department of Electronics
Dr. Seth Van Hooland	<i>EU Commissie</i>	Program Manager Digit
Dr. Malte Beyer Katzerberger	<i>EU Commissie</i>	Teamleider DG Connect
David Scheere	<i>EWI</i>	Policy Advisor Digital Transition