

Het technologisch ecosysteem van AI in Nederland

Babette Bakker
Devin Diran
Claudio Lazo
Govert Gijsbers en
Amber Geurts

WRR

De serie ‘Working Papers’ omvat studies die in het kader van de werkzaamheden van de WRR tot stand zijn gekomen. De verantwoordelijkheid voor de inhoud en de ingenomen standpunten berust bij de auteurs. Een overzicht van alle Working papers is te vinden op www.wrr.nl.

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid

Buitenhof 34
Postbus 20004
070-356 46 00
info@wrr.nl
2500 EA Den Haag
wrr.nl

Vormgeving binnenwerk: Ontwerpwerk, Den Haag
Working Paper nummer 47

E-IBSN 978 94 901 86 98 2

© Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid,
Den Haag 2021

De inhoud van deze publicatie mag (gedeeltelijk) worden gebruikt en overgenomen voor niet-commerciële doeleinden. De inhoud mag daarbij niet veranderen. Citaten moeten altijd aangegeven zijn.

Het technologisch ecosysteem van AI in Nederland

Babette Bakker
Devin Diran
Claudio Lazo
Govert Gijsbers en
Amber Geurts

WRR

Ten geleide

WRR Working Paper *Het technologisch ecosysteem van AI in Nederland* is geschreven door Babette Bakker, Devin Diran, Claudio Lazo, Govert Gijsbers en Amber Geurts van TNO.

In dit Working Paper staat het technologisch ecosysteem van AI in Nederland centraal. Een krachtige technologiepositie in AI vergt meer dan alleen inzet op AI en de software en algoritmen die er de kern van vormen. Vanuit een strategisch oogpunt zal ook gekeken moeten worden naar het bredere technologisch ecosysteem en in het bijzonder de kritische elementen in het innovatiesysteem rondom AI. Het Working Paper analyseert hoe dit technologisch ecosysteem van AI eruitziet in Nederland, en wat er de krachten en zwakten van zijn, specifiek voor de domeinen mobiliteit, zorg, infrastructuur, landbouw en industrie. Het onderzoek is afgerond op 8 juli 2021.

De serie ‘Working Papers’ omvatten studies die in het kader van de werkzaamheden van de WRR tot stand zijn gekomen. De verantwoordelijkheid voor de inhoud berust bij de auteurs.

Prof. mr. J.E.J. (Corien) Prins
Voorzitter WRR

Prof. dr. F.W.A. (Frans) Brom
Secretaris WRR

Inhoud

1.	Inleiding	6
2.	Strategische Innovatie Assets	9
2.1	Introductie van het Strategische Innovatie Assets (SIA) raamwerk	9
2.2	Uitwerking SIA-raamwerk voor de analyse van het technologisch ecosysteem van AI	11
3.	Technologisch ecosysteem	14
3.1	Het raamwerk voor een technologisch ecosysteem	14
3.2	Data als grondstof en asset	16
3.3	Kerntechnologieën	17
3.4	Complementaire technologieën	19
3.5	Ondersteunende infrastructuur	25
3.6	Standaarden: randvoorwaarden in het ecosysteem	29
3.7	Het technologische ecosysteem	29
4.	Het technologische ecosysteem van Nederland in beeld	31
4.1	Kracht in AI, maar afhankelijkheden van AI-diensten	32
4.2	Brede toegang tot complementaire technologie	32
4.3	Sterke positie in ondersteunende infrastructuur	34
4.4	Brede toegang tot data, met uitdagingen	35
4.5	Uitdagingen in toegang tot hardware	35
5.	Voorbeelden uit vijf sectoren	37
5.1	AI-ecosysteem van de sector Mobiliteit en Logistiek	37
5.2	AI-ecosysteem van de sector Zorg	39
5.3	AI-ecosysteem van de sector Infrastructuur	42
5.4	AI-ecosysteem van de sector Landbouw	45
5.5	AI-ecosysteem van de sector Industrie	49
6.	Conclusies	53
	Literatuur	56

1. Inleiding

Artificial Intelligence (AI, in het Nederlands: kunstmatige intelligentie) is één van de sleuteltechnologieën in de digitale transitie. Nederland heeft AI omarmd als een van de meest belovende technologieën voor het oplossen van maatschappelijke uitdagingen en het bevorderen van het verdienvermogen. Bedrijven, investeerders, wetenschappers en beleidsmakers gaan zelfs zo ver dat ze AI aanwijzen als een ‘General Purpose Technology’ (GPT) met een revolutionair potentieel.^{1,2} Een GPT is een technologie met een disruptief potentieel om producten, processen en diensten in de economie te veranderen. Eerdere GPT’s zijn bijvoorbeeld de stoommachine, elektriciteit en de verbrandingsmotor.³ AI kan processen effectiever, sneller, veiliger en duurzamer maken dan systemen die door alleen de mens gestuurd worden.

Gezien het belang van AI als een GPT, willen overheden een omgeving creëren waarin alle elementen aanwezig zijn om AI en AI-toepassingen snel in de private en publieke sectoren te kunnen opnemen. Nationale strategieën, agenda’s en beleidsplannen worden dan ook wereldwijd gelanceerd om dit te realiseren.⁴ Wanneer er wordt gesproken over het creëren van een goed ecosysteem voor het realiseren van AI-toepassingen, dan gaat het veelal over de kennis en expertise die nodig is om de algoritmes op een verantwoorde en ethische manier te maken. Voor de opname van effectieve AI-systemen is het echter ook noodzakelijk te kijken naar het bredere systeem en het samenspel van technologieën: het technologische ecosysteem van AI.

Een krachtige technologiepositie van AI vergt meer dan alleen inzet op AI. Vanuit een strategisch oogpunt kan gekeken worden naar het bredere technologische ecosysteem en de ‘kritische’ innovatie-assets daarbinnen.⁵ Voor het technologische ecosysteem van AI vormen software en algoritmes de kern, omdat ze essentieel zijn voor het analyseren van data en, vervolgens, het genereren van acties of aanbevelingen. Maar zonder de complementaire en ondersteunende componenten en technologieën, zoals data, hardware, overige software, standaarden en andere randvoorwaarden, kan het AI-systeem niet

1 Cockburn et al. 2018.

2 Bakker en Korsten 2021.

3 Bakker en Korsten 2021.

4 Voor een overzicht van nationale beleidsinitiatieven, zie: Paunov et al. 2019.

5 Gijsbers et al. 2019.

effectief en verantwoord opereren. Een AI-systeem in een zelfrijdende auto functioneert bijvoorbeeld alleen als de omgevingsdata die via sensoren in de auto verkregen worden, gecombineerd worden met data van de verkeerslichten en de infrastructuur via een veilige, snelle wifiverbinding.

Vanuit de technologie- en innovatieliteratuur gaat het in de kern van het innovatieproces niet alleen om het beheersen van een (sleutel)technologie (bijvoorbeeld via octrooien of knowhow), maar ook over het beschikken over de complementaire en ondersteunende hulpbronnen (assets) die nodig zijn om een technologische vernieuwing succesvol te transformeren tot een product dat in de markt gezet kan worden.⁶ De ontwikkeling van een nieuwe technologie is daarnaast vaak het resultaat van een combinatie van bestaande technologieën of technologische componenten.⁷ Om het voorbeeld van de auto terug te halen: over de jaren heen zijn er steeds meer onderdelen van de motor vervangen of toegevoegd om energiezuiniger te kunnen rijden, zoals sensoren, mechatronica en coatings. Incrementele en radicale vernieuwingen van deze componenten, veranderingen in de levering van complementaire assets, de rol van ondersteunende infrastructuren of andere factoren kunnen daarom de ontwikkeling van nieuwe technologie beïnvloeden.⁸

In de toekomst worden kern- en complementaire technologieën en assets steeds belangrijker voor AI-systemen. Om de mogelijkheden van AI-technologieën verder te brengen is het nodig dat steeds meer systemen met elkaar interacteren, en daarbij verschillende type data gebruiken, in een dynamische, veranderende omgeving. Dit vergt een goed werkend en op elkaar afgestemd technologisch ecosysteem rondom AI. Het is daarom tijd om het inzicht in het technologische ecosysteem van AI en de 'kritische' innovatie-assets binnen dit ecosysteem te verdiepen, en te onderzoeken wat voor Nederland nodig is om een sterke internationale positie te verkrijgen in het gebruik of de toepassing van AI. De hoofdvraag van deze studie is daarom:

Hoe ziet het technologische ecosysteem van AI eruit en wat zijn de sterktes en zwaktes van dit ecosysteem in Nederland, specifiek voor de domeinen mobiliteit, zorg, infrastructuur, landbouw en industrie?

6 Teece 1986.

7 Arthur 2009.

8 Dosi 1982.

Om deze hoofdvraag te beantwoorden spelen de volgende deelvragen een rol:

1. Wat zijn de belangrijke elementen voor het technologische ecosysteem van AI?
2. Wat is de kwaliteit (in termen van sterktes en zwaktes) van dit Nederlandse technologische ecosysteem?
3. Wat is de vraag naar dit technologische ecosysteem vanuit de toepassingsdomeinen mobiliteit, zorg, infrastructuur, landbouw en industrie?
4. Welke conclusies kunnen worden geformuleerd ten aanzien van het technologische ecosysteem van AI in Nederland?

In dit working paper beantwoorden we deze vragen door het technologische ecosysteem voor AI in kaart te brengen op basis van *desk research*. Dit onderzoek onderbouwen we met een aantal cijfers over het technologische ecosysteem voor Nederland. Vervolgens geven we voor de sectoren mobiliteit, zorg, infrastructuur, landbouw en industrie een aantal voorbeelden van de vraag naar complementaire assets in dit technologische ecosysteem. Deze voorbeelden hebben we verzameld uit interviews met TNO-experts. Daarbij maken wij gebruik van de Strategische Innovatie Assets-aanpak van TNO.⁹

In het volgende hoofdstuk bespreken we in meer detail het raamwerk van Strategische Innovatie Assets waarop deze studie is gebaseerd (hoofdstuk 2). Vervolgens komen het technologische ecosysteem rond AI (hoofdstuk 3), en de kwaliteit van de verschillende elementen in dat ecosysteem in Nederland (hoofdstuk 4) aan de orde. We analyseren de vraag naar de verschillende elementen door gebruik te maken van een aantal sectorale cases (hoofdstuk 5). Tot slot geven we een aantal conclusies over het technologische ecosysteem van AI (hoofdstuk 6).

2. Strategische Innovatie Assets

2.1 Introductie van het Strategische Innovatie Assets (SIA) raamwerk

Om een sterke internationale positie te kunnen verkrijgen in het gebruik en/of de toepassing van AI is het belangrijk om inzicht te hebben in het technologische ecosysteem van AI en de ‘kritische’ innovatie-assets daarbinnen. Vanuit een strategisch oogpunt is het van belang dat Nederland toegang heeft tot de juiste technologieën en complementaire assets om zo impact te kunnen realiseren.

In de TNO-publicatie *Strategic Innovation Assets voor Nederland*¹⁰ geven we aan dat de nadruk in toenemende mate ligt op het dilemma tussen vrijhandel versus bescherming van de eigen productie. In Duitsland was bijvoorbeeld de overname van robotproducent Kuka door een Chinees bedrijf een *wake-up call* om de positie binnen de robotica niet te verliezen. In Nederland riep de mogelijke overname van NXP veel discussie op. Ook gaat er veel aandacht naar de European International Data Spaces, als tegenhanger van de Amerikaanse dataplatforms zoals Google en Amazon. Deze voorbeelden zorgen voor een toenemende vraag naar een raamwerk waarmee het mogelijk is de strategische waarde van innovatie-assets in Nederland te analyseren, zodat het beleid hierop in kan spelen.

Een aanpak om over de strategische waarde van innovatie-assets voor Nederland na te denken is het Strategische Innovatie Assets (SIA) raamwerk.¹¹ Deze aanpak biedt handvatten om gestructureerd na te denken over een strategie voor het beschermen, opbouwen of versterken van innovatie-assets die van strategisch belang zijn voor de concurrentiekracht en toekomstige welvaart van een land.

Deze SIA-aanpak bouwt voort op het werk van David Teece.^{12,13} Voor Teece gaat het in de kern van het innovatieproces om het beheersen van een (sleutel)technologie. Daarbij gaat het niet alleen om octrooien maar ook om de knowhow die nodig is om die octrooien te exploiteren. De baten komen vooral bij de eigenaar van de technologie terecht als die technologie goed te beschermen is door patenten of geheimhouding, en moeilijk te kopiëren of te emuleren is. Tegelijkertijd is één van de belangrijkste redenen waarom bedrijven niet kunnen profiteren van een innovatie, dat ze onvoldoende beschikken over de

10 Gijsbers et al. 2019.

11 Gijsbers et al. 2019.

12 Teece 1986.

13 Teece 2018.

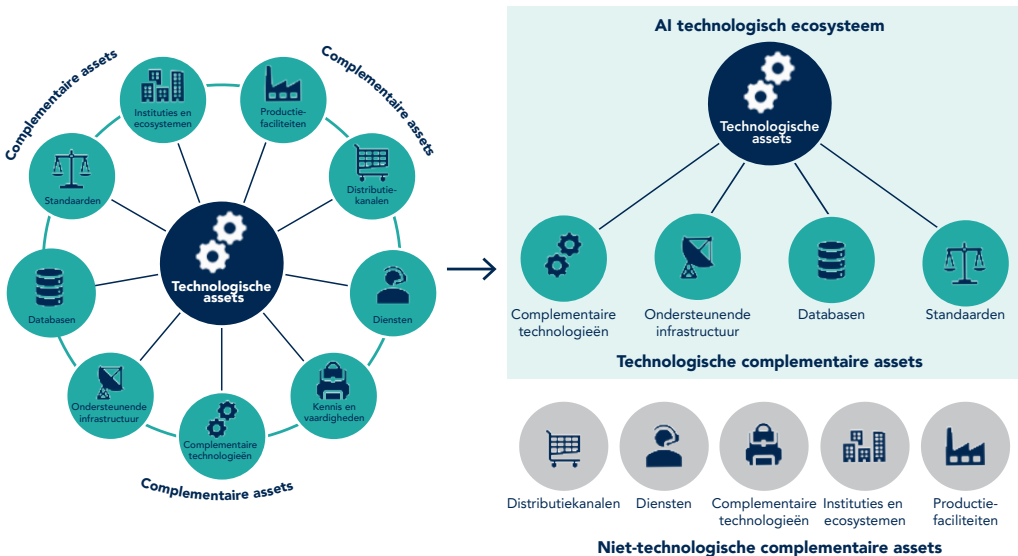
complementaire hulpbronnen (assets) die nodig zijn om een technologische vernieuwing succesvol te transformeren tot een product dat in de markt gezet kan worden. Soms zijn ook concurrenten, die bijvoorbeeld actief zijn op het gebied van complementaire hulpbronnen, in staat uiteindelijk de markt voor nieuwe producten te veroveren. Teece onderscheidt daarom verschillende typen assets, alsmede verschillende typen complementaire assets. In de SIA-aanpak maakt TNO dan ook een onderscheid tussen technologische en complementaire assets. Figuur 2.1 Overzicht van de strategische innovatie-assets. De technologische assets in de kern worden omringd door de complementaire assets. geeft hiervan een overzicht.



Figuur 2.1 Overzicht van de strategische innovatie-assets. De technologische assets in de kern worden omringd door de complementaire assets.

2.2 Uitwerking SIA-raamwerk voor de analyse van het technologische ecosysteem van AI

AI kan gezien worden als één van de sleuteltechnologieën die van strategisch belang zijn – en waarvoor het noodzakelijk is om na te denken hoe Nederland de positie in de AI-waardeketen, waar nodig, kan beschermen, opbouwen of versterken. In deze studie leggen we de nadruk op het in kaart brengen van het technologische ecosysteem voor AI, waarbij het met name draait om de toegang tot of de controle over de noodzakelijke technologische assets (kerntechnologieën) en complementaire assets, als voorwaarde om te kunnen profiteren van innovatie op het gebied van en met AI. Bij de complementaire assets maken we een nader onderscheid, namelijk in *technologische complementaire assets*, zoals ondersteunende infrastructuur, databases, en technologische standaarden, en *niet-technologische complementaire assets*, zoals diensten, kennis en vaardigheden en instituten en ecosystemen. Deze assets vallen buiten de reikwijdte van dit working paper. Figuur 2.2 geeft de vertaling van het SIA-raamwerk naar een raamwerk voor de analyse van het technologische ecosysteem van AI weer.



Figuur 2.2 Vertaling SIA-raamwerk voor analyse van het technologische ecosysteem van AI. Het technologische ecosysteem bestaat uit de kerntechnologieën (blauw) en de technologische complementaire assets (groen).

In de analyse van het technologische ecosysteem van AI spelen de volgende elementen een rol:

- **Kerntechnologieën:** Hierbij gaat het om de kerntechnologische assets van een bedrijf of ecosysteem. Bij een bedrijf als ASML gaat het bijvoorbeeld om EUV-technologie, bij AI om algoritmes, software en modellen.
- **Complementaire technologieën:** sinds 2006 nemen technologieën als complementaire assets een steeds belangrijker plaats in het werk van Teece in. Zo hadden elektrische auto's betere batterijen nodig voordat ze een volwaardig alternatief konden vormen voor de verbrandingsmotor. Bij AI valt bij complementaire technologie te denken aan: blockchain, cloud-computing en Internet of Things. De belangrijkste strategieën hierbij zijn het zelf ontwikkelen van complementaire technologieën of het verwerven ervan via licenties, overnames of strategische allianties.
- **Ondersteunende infrastructuur:** naast complementaire technologieën zijn (nieuwe) infrastructuren vaak een essentiële complementaire asset. Voordat zon- en windenergie hun potentieel kunnen realiseren, is niet alleen een doorbraak nodig in de opslag van zonne- en windenergie (complementaire technologie), maar ook in de ontwikkeling van een smart grid dat pieken en dalen in de productie en vraag opvangt en herverdeelt. Voor AI moeten niet alleen de AI-systemen maar ook de internet-, energie- en datanetwerken op orde zijn.
- **Databases:** voor elke innovatie neemt het belang van data (small en big) toe. Veel organisaties (bijvoorbeeld verzekeraars, banken, ziekenhuizen of onlineplatformen) kopen of verzamelen zelf data in databases. De echte waarde daarvan wordt pas ontsloten (ook bij AI) als deze data ook doorzoekbaar worden en analyseerbaar zijn (databasetechnologie). Het bedrijf dat bijvoorbeeld het beste profiel van zijn klanten heeft ontwikkeld, kan de verkoopstrategie (marketing, prijs, risicomarge) hierop aansluiten en aan marktaandeel winnen.
- **Standaarden, installed base en netwerkeffecten:** bij innovatieprocessen strijden verschillende standaarden om dominantie. Teece benadrukt dat degene die eigenaar is van, dan wel toegang heeft tot, een bepaalde standaard, daarmee een groot concurrentievoordeel heeft.¹⁴ Hoe dominanter de standaard, hoe groter de *installed base* van gebruikers en hoe aantrekkelijker het voor nieuwe gebruikers wordt om zich daarbij aan te sluiten (netwerkeffecten).

14

Teece maakt een onderscheid tussen Standard Setting Organizations en Standard Development Organizations. Bij de eerste gaat het bijvoorbeeld om de vorm van een stekker voor een elektrische auto. Bij de tweede speelt innovatie een veel grotere rol – neem bijvoorbeeld de ontwikkeling van de nieuwe 5G-standaard voor mobiele communicatie. Hoe die standaard eruit gaat zien, raakt direct aan de strategische belangen van veel bedrijven: welke technologieën worden gebruikt en wat betekent dat voor de kansen voor de toekomst?

Dit hoofdstuk vormt de theoretische basis voor ons onderzoek. Hierin hebben we het SIA-raamwerk omgevormd om ons te kunnen richten op de technologische assets. Dit legt de basis voor het technologische ecosysteem voor AI. In hoofdstuk 4 volgt een gestructureerde verkenning van de technologieën zodat we het technologische ecosysteem verder vorm kunnen geven.

3. Technologisch ecosysteem

In dit hoofdstuk werken we het in het vorige hoofdstuk toegelichte SIA-raamwerk uit voor AI. Hierbij gaat het om de (externe) afbakening van het ecosysteem.

3.1 Het raamwerk voor een technologisch ecosysteem

In de Europese AI-strategie wordt AI gedefinieerd als systemen die intelligent gedrag vertonen door hun omgeving te analyseren en acties te ondernemen – met een bepaalde mate van autonomie – om specifieke doelen te bereiken¹⁵, zoals het detecteren van cyberaanvallen of het winnen van een spel. Voordat deze AI-systemen winstgevende producten of diensten zijn, is een aantal activiteiten nodig, die worden samengevat in de waardeketen. Deze waardeketen vormt de basis voor het identificeren van het technologische ecosysteem voor AI, en elk onderdeel van deze waardeketen stelt eisen aan dat ecosysteem. Figuur 3.1 geeft een overzicht van dit raamwerk.

AI als technologische innovatie is gebaseerd op kerntechnologieën, die integraal deel uitmaken van de ontwikkeling en implementatie van AI in de samenleving. Een kerntechnologie maakt de realisatie en functionaliteit van een AI-systeem mogelijk. Hierbij draagt zij er direct aan bij dat het AI-systeem waarde uit data creëert (effectiviteit), en dat de randvoorwaarden voor een succesvol AI-systeem op het vlak van bijvoorbeeld ethiek, veiligheid en efficiëntie worden gewaarborgd. Daarnaast zijn er complementaire technologieën die AI als product of dienst versterken. De wederzijdse afhankelijkheid kan als katalysator werken voor de ontwikkeling en de rol van AI, terwijl de complementaire technologieën ook zonder AI een rol kunnen hebben. Vervolgens is er een belangrijke rol voor de ondersteunende infrastructuur op globaal, nationaal, regionaal en lokaal niveau: deze infrastructuur ondersteunt de ontwikkeling en implementatie van AI.

Het is kenmerkend voor AI dat het onderscheid tussen kern, complementaire technologie en infrastructuur niet eenduidig is. Wel is het mogelijk dat een technologie meer bij een van deze drie categorieën past dan bij een andere. Er is sprake van een continuüm tussen deze drie categorieën. Daarom hebben we het technologische ecosysteem van AI opgedeeld in zes aggregatieniveaus, naar de AI-infrastructuurstack van Intel Capital.¹⁶ Hierin zien we dat AI afhankelijk is van een aantal technologieën en infrastructuren voor het beheer, de data-analyse, ende soft- en hardware en het netwerk. Op het hoogste – meest

15

EC 2018.

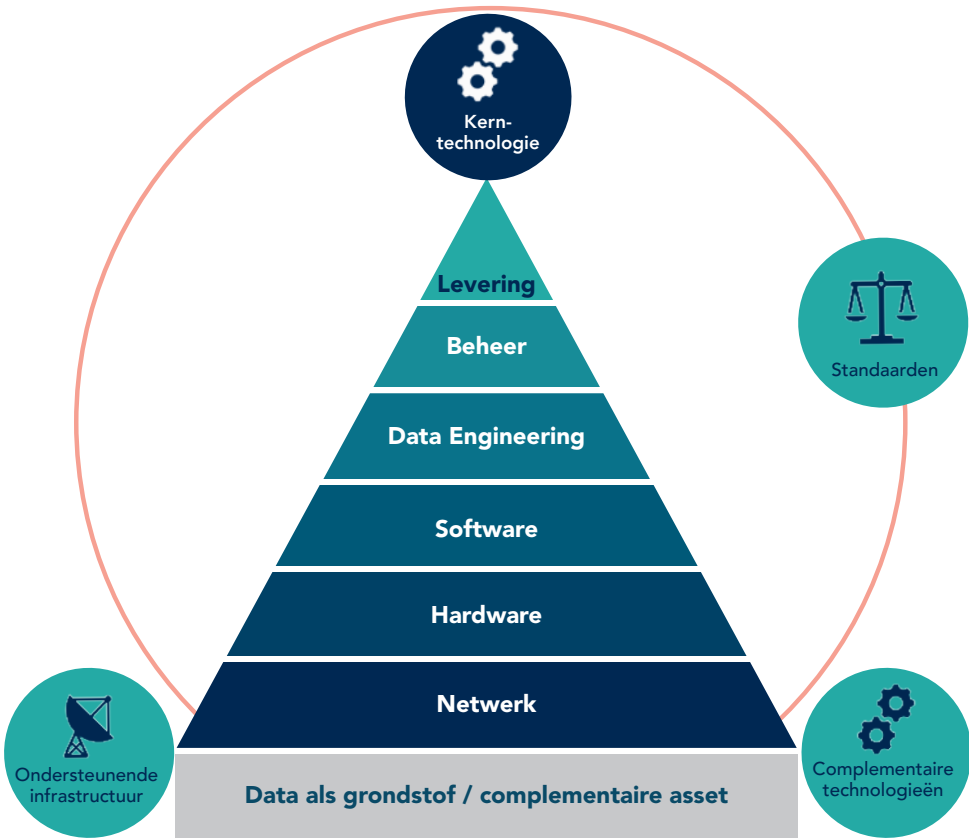
16

Intel Capital 2020.

abstracte – niveau spreken we van de *levering van AI*, waarin AI als dienst wordt aangeboden. Het *beheer* van AI verwijst naar technologieën die de AI-onderdelen onderling verbinden (het ‘leidingwerk’) en de software die de prestatie of impact van AI monitort. De technologieën die het opschonen, uitlezen of transformeren maar ook het delen of verkennen van data voor AI ondersteunen, vallen onder de laag *data engineering*. Deze laag is essentieel als het erom gaat waarde uit de data te halen alvorens een AI op basis van die data kan worden ingezet, en om de impact van AI met de data te optimaliseren.

De middelste lagen betreffen de *software* die het toepassen van AI (programmeertalen, softwarematige AI-acceleratoren) ondersteunt en de *hardware* (robotica, sensoren, grafische kaarten) die AI-toepassingen realiseren. De onderste lagen omvatten technologieën op *netwerk*-niveau, zoals breedbandinternet, energienetwerk en datacenters. Deze technologieën zijn essentieel voor het verwerken van sensordata op afstand of het leveren van energie voor de enorme rekenkracht die AI nodig kan hebben. De *data*, die als grondstof van AI worden gebruikt, zijn wellicht geen technologie, maar wel cruciaal voor alle aggregatieniveaus. *Standaarden* zijn ten slotte overstijgend en daarom buiten de aggregatieniveaus geplaatst omdat deze op elk niveau een relevante asset zijn (zie paragraaf 2.2).

Hoe de kerntechnologieën, complementaire technologieën en de ondersteunende infrastructuur de ontwikkeling en implementatie van AI in de waardeketen mogelijk maken, wordt gevisualiseerd in figuur 3.1.



Figuur 3.1 Het technologische ecosysteem voor AI

In de volgende paragrafen geven we een nadere uitleg van de elementen in het technologische ecosysteem voor AI. Hierbij bespreken we de bovenste drie aggregatielagen in de paragraaf over kerntechnologieën (paragraaf 3.3), en de onderste drie aggregatielagen in de paragrafen over complementaire technologieën (paragraaf 3.4) en ondersteunende infrastructuur (paragraaf 3.5).

3.2 Data als grondstof en asset

Data zijn te zien als de basis en als een grondstof voor AI en komen in vele vormen voor. Zo kan waarde gehaald worden uit gestructureerde data, zoals tijdsreeksen van sensoren, meetgegevens uit onderzoeken, tabellen met verkoopdata, synthetische data die zijn gegenereerd door een (gevalideerd) model, of ongestructureerde data zoals foto's, video's, tekstdocumenten, berichten op sociale media. De AI-disciplines *Natural Language Processing*, *Computer Vision* en *Machine Learning* maken het mogelijk om informatie te halen uit grote hoeveelheden ongestructureerde (tekstuele) data.

Data zijn dus een essentiële asset voor lerende AI-systemen, en maken dat hardware en software die bijdragen aan het verzamelen, opslaan, voorbereiden en verwerken van data direct complementair zijn aan AI-systemen. Complementaire technologieën zoals het internet der dingen of grafische kaarten (GPU), hebben een katalyserende werking met de kerntechnologieën in de AI-waardeketen. Naast AI zijn er veel andere technologieën die betrekking hebben op data. Zo is er software voor dataverkenning en -verwerking, versiebeheer, feature engineering, labelen, kwaliteitsbeoordeling, en data-integratie. Deze technologieën zijn complementair doordat zij ontwikkelaars helpen bij het produceren en combineren van kwalitatief goede data, wat de prestatie van het AI systeem ten goede komt.

3.3 Kerntechnologieën

Doordat AI een technologie is die meerdere aggregatielagen beslaat (zie paragraaf 3.2), zijn ook de kernassets voor AI divers verdeeld over deze lagen (zie figuur 3.2). Voor de productie van AI zijn essentiële technologieën namelijk de software voor het verwerken en verkrijgen van data (*data-engineering*), en de software voor het ontwikkelen en beheersen van de AI-modellen (AI-beheer). Op de bovenste aggregatielaag beschouwen wij de productie van meerwaarde, zoals nieuwe inzichten of automatisering van activiteiten, met AI-diensten en -producten. De kerntechnologieën (figuur 3.2) beschrijven we in deze paragraaf.



Figuur 3.2 Kerntechnologieën AI

AI-diensten leveren waarde doordat de gebruiker niet zelf hoeft te zorgen voor de gehele AI-infrastructuur, maar het eindproduct als dienst afneemt. Zo maakt bijvoorbeeld Google¹⁷ getrainde modellen voor beeldherkenning tegen betaling toegankelijk. Hoe meer AI-systemen afhankelijk zijn van zulke AI-diensten, des te meer waarde deze strategische assets hebben.

Auditing-technologie. Daarnaast zijn er technologieën om grip te krijgen op de AI zodra deze opgeleverd is. Denk bijvoorbeeld aan software voor de observatie (monitoring) en de regulering (auditing) van AI-systemen.

AI-managementsoftware. Om een geoperationaliseerd, getraind AI-model daadwerkelijk in de maatschappij in te kunnen zetten is productie en toepassing (*deployment*) nodig. Hierbij wordt het getrainde AI-model in werking gezet en opengesteld om de bedoelde taak uit te voeren, zoals cijferherkenning of een chatbot. Een ontwikkelaar kan dit zelf doen, mits deze over voldoende ondersteunende infrastructuur beschikt. Veel marktpartijen bieden de productie echter als clouddienst aan. Voorbeelden zijn AI-managementtools en -diensten zoals de Machine Learning Engine op Google Cloud, Azure Machine Learning Studio op Microsoft Azure, Einstein op de Salesforce cloud of IBM Watson ML. Een belangrijke rol van deze software is ook om ervoor te zorgen dat het AI-model geüpdatet wordt aan de hand van nieuwe data. Zo dient een chatbot te blijven leren van interacties met klanten.

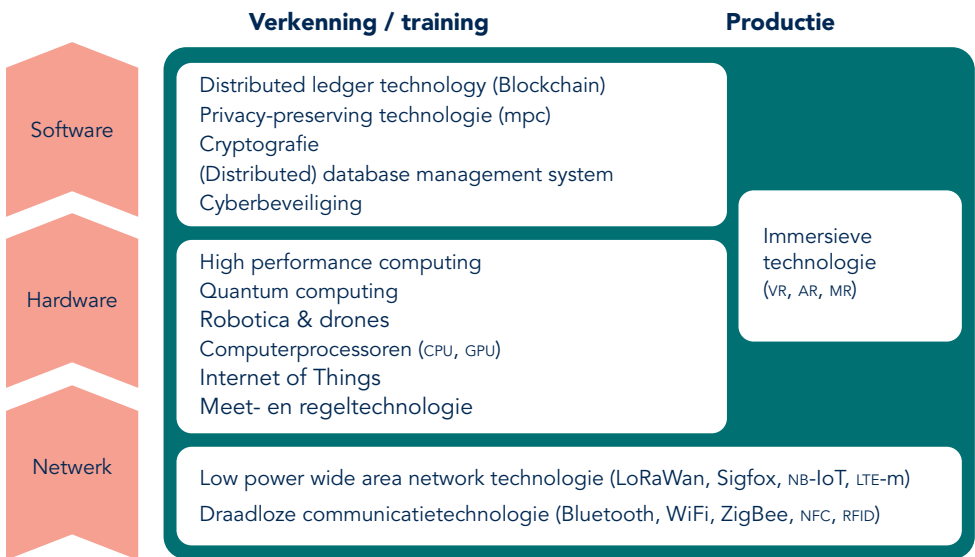
Data-pipelinetechologie. Deze technologie kan toegepast worden om het opslaan, verzamelen, prepareren en inladen van data in AI-modellen te automatiseren. Zij faciliteert dus data-engineering. Technologieën die hier vaak ondersteunend aan zijn, zijn onder andere ETL-software (*extraction, transformation, load*) en databasemanagementsystemen.

Dataplatformen nemen toe in belang als platform voor het uitwisselen van data en het bouwen van datagedreven diensten en producten.¹⁸ Een dataplatform maakt gebruik van digitale technologieën om datastromen mogelijk te maken en deze te combineren binnen en tussen nationale, regionale en lokale systemen en de infrastructuur van de publieke en private sector. Zij dragen eraan bij dat databronnen toegankelijk worden voor bijvoorbeeld ontwikkelaars van AI-diensten en -producten. Door deze verbindende rol behoren dataplatformen tot de kerntechnologieën van AI.

Data-analyse & -exploratietools zijn cruciaal voor het bouwen van AI. Deze stellen de ontwikkelaars (data-analisten, datawetenschappers) in staat om te experimenteren en de datakwaliteit te onderzoeken alvorens er een machine learning model op los te laten. Voorbeelden zijn KNIME, Weka (open source) of de betaalde diensten Dataiku, Databricks en Cloudera.

3.4 Complementaire technologieën

Naast kerntechnologieën zijn ook complementaire technologieën nodig voor de toepassing van AI als product of dienst. Dit kan door bij te dragen aan het efficiënter verzamelen en verwerken van data, door het modelleren efficiënter of energiezuiniger te maken, of juist door de interactie met gebruikers in de productie en levering van AI-systemen te verbeteren. De complementaire technologieën zijn in figuur 3.3 verdeeld over de AI-waardeketen.



Figuur 3.3 Complementaire technologieën

Distributed-ledger-technologie zoals blockchain stelt gebruikers in staat om data versleuteld, gedistribueerd en gedecentraliseerd op te slaan in een onveranderlijk grootboek. AI en blockchain versterken elkaar mogelijk. Zo kan AI helpen om blockchaintechnologieën te versnellen, en kan blockchain helpen om AI uitlegbaar te maken, of om de trainingsdata te diversifiëren en te beschermen.¹⁹

Databasemanagementsystemen. Om ervoor te zorgen dat AI-modellen goed presteren en dus concurrerend zijn, is een grote hoeveelheid trainingsdata nodig. Wanneer er dermate veel trainingsdata zijn dat deze niet meer op één computer passen, spreken we van ‘Big Data’ en is een gedistribueerde oplossing nodig. Technologieën hiervoor bestaan uit grootschalige *data-opslag* (Hadoop, MongoDB, Cassandra) en grootschalige *dataverwerking* (Apache Spark). Daarnaast ontwikkelen traditionele databaseleveranciers zoals Oracle en SAP ook betaalde *big data*-oplossingen (bijvoorbeeld SAP HANA²⁰).

Cyberbeveiliging is noodzakelijk om cyberaanvallen tegen te houden. Zo kan een aanvaller beeldherkenning voor de gek houden door een paar pixels in een plaatje aan te passen. Cyberbeveiligingstechnologie zoals firewalls of *access control* is essentieel, en er zijn opkomende technologieën zoals hardware-authenticatie, gebruikersgedragsanalyse of datalekpreventie. Daarnaast zijn sterke cryptografische methodes (RSA, AES) essentieel om de betrouwbaarheid van informatie te waarborgen. Toekomstige ontwikkelingen in deze technologie betreffen ‘kwantumresistente’ cryptografische methodes, die ook veilig blijven als een aanvaller over een kwantumcomputer beschikt.

Privacy-preserving-technologie. Zelfs al zijn de data aanwezig, dan nog is het mogelijk dat deze niet voor AI-modellen kunnen worden gebruikt vanwege hun privacy- of concurrentiegevoeligheid. Derhalve hebben doorbraken in de privacy-preserving-technologieën een katalyserende werking op de ontwikkeling en toepassing van AI. Twee relevante voorbeelden hiervan zijn Multi-Party Computation (MPC) en Federated Learning.

MPC is een set cryptografische technieken die data-analyse mogelijk maken zonder persoonsgegevens of concurrentiegevoelige gegevens uit te wisselen.²¹ Zo is MPC complementair aan AI in bijvoorbeeld het BigMedilytics project, waarbij persoonlijke gezondheidsdata worden gebruikt om de zorg voor hartpatiënten te verbeteren.²²

Federated Learning is een techniek binnen het machineleren om een gecentraliseerd model te trainen terwijl de benodigde data gedecentraliseerd blijven.²³ Een relevant toepassingsgebied is het leveren van diensten voor grote hoeveelheden gebruikers met langzame of instabiele internetverbindingen, dus met name smartphonegebruikers (onder andere zoekopdrachten, navigatie,

20 Kempfen 2020.

21 Van Haaften et al. 2020.

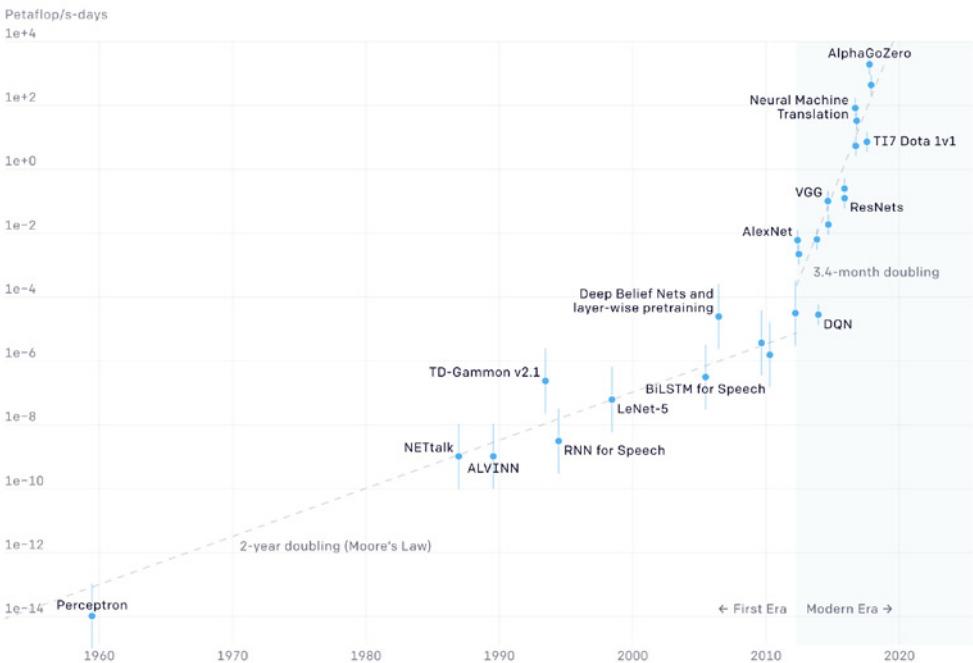
22 Van Haaften et al. 2020.

23 Konečný et al. 2016.

persoonlijk nieuws). In plaats van de data worden AI-modellen, in de vorm van een set parameters, uitgewisseld en blijven de data dichtbij de gebruiker. Zo kan een veel sterkere privacy- en vertrouwelijkheidsgarantie worden geboden.

Computerprocessorsen. Bij elke AI-toepassing is computationele capaciteit (rekenkracht) essentieel. Als complementaire assets zijn de CPU's (Central Processing Units) belangrijk voor de basisoperaties in een computer, en de gespecialiseerde GPU's (Graphics Processing Units) voor de complexere operaties. CPU's hebben een belangrijke rol in de fase waarin data worden verzameld, opgeslagen en geprepareerd. Traditioneel worden CPU's toegepast in computers en servers. Voor het trainen van AI-modellen worden tal van complexe acties uitgevoerd, wat betekent dat GPU's vooral belangrijk zijn voor het trainen en toepassen van AI-modellen. Recent brengen onder andere Google, Intel en NVIDIA AI-specifieke chips op de markt voor complexere AI-modellen.

Two Distinct Eras of Compute Usage in Training AI Systems



Figuur 3.4 De relatie tussen AI-systemen en het vereiste rekenvermogen²⁴

De ontwikkeling van AI gaat dus gepaard met de toename in rekenvermogen (zie figuur 3.4). Naast de opkomst van toegewijde AI-chips is High Performance Computing (HPC), of Super Computing, hiermee een belangrijke technologie voor AI-systemen. HPC overstijgt het vermogen van traditionele computers. Volgens de Partnership for Advanced Computing in Europe (PRACE) wordt het Europees HPC ecosysteem opgebouwd uit HPC-infrastructuur op drie geografische schaalniveaus²⁵:

- Tier 0: HPC op Europese schaal. Van Tier-0-supercomputers zijn er in 2021 nog geen voorbeelden. Wel is een overeenkomst ondertekend om de eerste Europese supercomputer te ontwikkelen in Bulgarije.²⁶
- Tier 1: supercomputers op nationale schaal. Cartesius²⁷ is de huidige supercomputer van de coöperatie SURF in Nederland, een leverancier van supercomputer- en dataopslagdiensten aan universiteiten en onderzoeksinstituten. Deze supercomputer wordt in 2021 vervangen door een opvolger die tien keer zo snel is.

Leonardo is de naam van wat 's werelds snelste AI-supercomputer moet worden in Italië. Leonardo²⁸ is een initiatief van Europees High Performance Computing Joint Undertaking (EuropeHPC) in samenwerking met het Italiaanse interuniversitaire consortium CINECA. Leonardo zal omgerekend 248 petaflops aan rekenvermogen leveren die geavanceerde AI- en HPC-geconvergeerde toepassingen mogelijk maken. Met bijna 14.000 op NVIDIA Ampere-architectuur gebaseerde GPU's en NVIDIA® Mellanox® HDR 200Gb/s InfiniBand-netwerken, zal Leonardo Italië voortstuwen als de wereldleider op het gebied van AI en high-performance-computing-onderzoek en -innovatie.

- Tier 2: supercomputers op regionale schaal. De TU Delft werkt aan de opzet van een eigen supercomputer op Tier-2-niveau.²⁹ Deze kan vervolgens opgeschaald worden tot nationaal niveau (Tier 1).

Voor (potentiële) gebruikers is het nuttig om informatie en statistieken over supercomputers wereldwijd te raadplegen. top500 is een lijst waarin twee maal per jaar gegevens van de beste 500 supercomputers wereldwijd worden gedeeld.³⁰

25 PRACE (z.j.)
 26 EC 2021a.
 27 SURF (z.j.)
 28 EC 2020.
 29 SURF 2021.
 30 TOP500 2021.

Quantumcomputing is een relatief jonge discipline op het snijvlak van informatica en quantumfysica.³¹ Quantumcomputers zijn computers die in plaats van klassieke bits zogenoemde quantumbits of ‘qubits’ gebruiken om informatie op te slaan. Terwijl klassieke bits alleen de waarde van nul of één kunnen aannemen, bevinden quantumbits zich in een superpositie: deze kunnen zich in twee logische toestanden tegelijkertijd bevinden. Bovendien kunnen quantumbits verstrengeld zijn, wat betekent dat twee apparaten op verschillende plaatsen kunnen worden verbonden door middel van quantummechanische verschijnselen, waardoor de informatieoverdracht tussen die apparaten inherent veilig is.

Op dit moment presteren quantumcomputers nog steeds minder dan klassieke computers en wordt er gestreefd naar ‘quantum supremacy’³², oftewel het moment waarop een quantumcomputer een taak uitvoert die een klassieke computer niet zou kunnen verrichten. In oktober 2019 kondigde Google aan dat het dit doel had bereikt, aangezien hun quantumcomputer van 53 qubits naar verluidt een berekening zou uitvoeren die de beste supercomputers duizenden jaren zou kosten.³³ Hoewel quantumcomputers tegenwoordig nog steeds slechter presteren dan klassieke computers, beloven ze grote verschuivingen in de verwerkingscapaciteit, waardoor problemen die met klassieke computers als onoplosbaar worden beschouwd, binnen een redelijk tijdsbestek kunnen worden opgelost. Tientallen jaren van laboratoriumwerk en het groeiende vermogen om quantumeffecten te manipuleren, effenen zo de weg naar de eerste, bijna marktrijpe quantumcomputer.³⁴ Quantumcomputing wordt daarom aangewezen als een nieuw paradigma binnen het computergebruik en kan een echte, baanbrekende impact hebben op de wetenschap, het bedrijfsleven en de samenleving.

Het belang van quantumcomputing voor AI is potentieel heel groot. Quantumcomputing maakt andere typen van berekening mogelijk en andere vormen van patroonherkenning die AI een belangrijke boost kunnen geven: *“There is a natural combination between the intrinsic statistical nature of quantum computing ... and machine learning.”* aldus Johannes Otterbach, een natuurkundige bij Rigetti Computing, een bedrijf dat actief is op het gebied van quantumcomputers in Berkeley, California.³⁵

31 Paraoanu 2011.
32 Preskill 2012.
33 Arute et al. 2019.
34 Mohseni et al. 2017.
35 Musser 2018.

Ook de fase van productie en levering vraagt om de inzet van complementaire technologieën. De productie en levering van AI-systemen vindt steeds dichterbij de eindgebruiker plaats. Dit stelt eisen aan de realtime beschikbaarheid van data, maar ook aan de technologieën die de interface vormen met de eindgebruiker, in de virtuele wereld of via hardware-apparaten. Er zijn verschillende complementaire technologieën die hieraan een bijdrage leveren.

Robotica speelt een grote rol bij de toepassing van AI. Robotica is het technologieveld van geautomatiseerde machines die (semi-)autonoom taken kunnen verrichten zoals navigeren, objecten detecteren en objecten manipuleren. Drones vallen derhalve ook onder robotica. In de procesautomatisering wordt ook gesproken van ‘robots’ in de vorm van computerprogramma’s (zogenoemde softbots) die simpele virtuele taken autonoom uitvoeren. Niet-intelligente robots hebben echter een beperkte functionaliteit. Om complexe taken zoals objectherkenning uit te laten voeren, zijn AI-algoritmes nodig. Zo zijn bijvoorbeeld ‘smart robots’ robots die AI integreren om de prestatie te verbeteren.³⁶ Hierdoor is er minder tijd en energie nodig om robots handmatig te programmeren. Ontwikkelingen in de robotica versterken daarbij ook de toepassingsmogelijkheden van AI.

Immersieve technologie. In de virtuele wereld communiceert het AI-systeem met de eindgebruiker via elektronica, zoals een telefoon, computer en dashboard. Nieuwe, opkomende technologieën dragen bij aan een betere interactie van eindgebruiker met het AI-systeem, zoals immersieve technologie. Immersieve technologie verwijst naar de technologieën die de waargenomen realiteit voor een gebruiker uitbreiden met virtuele elementen (Augmented Reality) of compleet virtualiseren (Virtual Reality) en alle tussenvormen (Mixed Reality). Immersie verwijst naar de technologische kwaliteit van media.³⁷ Een toepassingsvoorbeeld is het gebruik van Mixed Reality om gevaarlijke situaties na te bootsen in het trainingsprogramma van de brandweer.³⁸ Een ander bekend voorbeeld is de Pokémon-Go-app.

Internet of Things. De ontwikkeling van het internet der dingen (Internet of Things, ook: IoT) biedt ook kansen voor AI, doordat er nieuwe databronnen aangesloten worden op het internet. Dit biedt mogelijkheden als slimme parkeermeters, e-health, assets traceren, en *smart farming*. Volgens Cisco zijn er in 2023 ongeveer 30 miljard apparaten op het internet aangesloten,

36 Raj & Seamans 2019.

37 Cummings & Bailenson 2016.

38 Heirman et al. 2020.

waarvan de helft uit IoT-devices bestaat.³⁹ Meet- en regeltechnologie geeft IoT-toestellen het vermogen om de wereld waar te nemen (sensoren), op basis van die waarnemingen te redeneren (regelaars) en te beïnvloeden (actuatoren).

Draadloze communicatietechnologie omvat veelgebruikte protocollen zoals Bluetooth, WiFi, ZigBee, NFC of RFID. Deze technologieën maken het mogelijk om op vrij korte afstand (varierend van 4 cm tot maximaal 30 meter) draadloos informatie uit te wisselen. Zo gebruikt een *smart home* mogelijk Bluetooth voor de draadloze speaker, ZigBee voor de slimme lampen en WiFi voor toegang tot het internet.

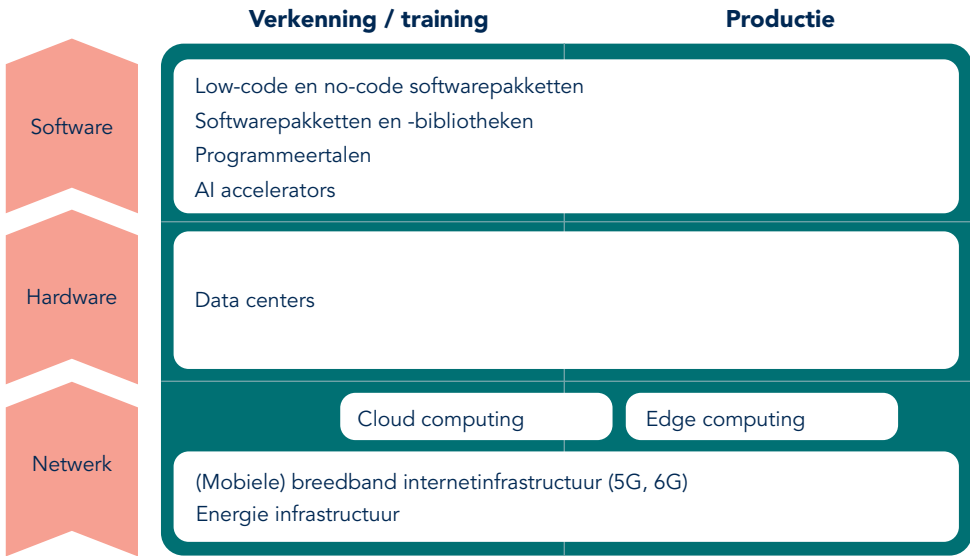
Low Power Wide Area Network-technologieën (LoRaWAN, Sigfox, NB-Iot, LTE-M) is een draadloze communicatietechnologie dat specifiek voor het Internet of Things is ontwikkeld. LoRaWAN is een open standaard die de communicatie op grote afstand, met laag stroomverbruik, voor IoT-apparaten mogelijk maakt. In vergelijking met de mobiele internetinfrastructuur is de gebruiker hierbij dus niet noodzakelijk afhankelijk van een telecomprovider. Naast betaalde oplossingen bestaat er een set open tools en een globaal netwerk om communicatie voor IoT-oplossingen te realiseren.⁴⁰

3.5 Ondersteunende infrastructuur

Ondersteunende infrastructuur speelt een belangrijke rol bij het genereren, uitwisselen en opslaan van data voor AI-systemen. Traditioneel wordt infrastructuur geassocieerd met spoorwegnetwerken, energienetten en telecommunicatienetwerken. Het combineren van IoT-technologie, sensoren en actuatoren met klassieke infrastructuur, zoals een spoorwegnetwerk of een wegennetwerk, zorgt ervoor dat ook deze klassieke infrastructuur ondersteunend wordt voor AI doordat de mogelijkheden voor AI-toepassingen in deze infrastructuren toenemen, bijvoorbeeld voor voorspellend onderhoud.

De in paragraaf 3.4 genoemde complementaire technologieën kunnen ook een belangrijke rol spelen bij de ondersteunende infrastructuur, bijvoorbeeld door middel van datacenter-infrastructuur voor de digitale economie en AI, waarin CPU/GPU een belangrijke rol vervullen. Voorts worden ondersteunende infrastructuren voor AI-systemen (figuur 3.5) uitgelicht.

Zonder **software** is er geen AI-systeem mogelijk. Er bestaan verschillende open (open source) technologieën voor de activiteiten binnen de waardeketen, en



Figuur 3.5 Ondersteunende infrastructuur

daarnaast worden geïntegreerde oplossingen aangeboden over de gehele breedte van de AI-waardeketen. Hoewel bij AI met name aan software gedacht wordt, is ook de hardware essentieel, met name bij de opslag van data.

Software is een essentiële technologie voor de operationalisatie van AI-modellen. In het open domein zijn programmeertalen en bibliotheken (libraries) beschikbaar die het mogelijk maken om efficiënt nieuwe modellen te ontwikkelen. Daarnaast worden ook betaalde SaaS-diensten aangeboden, waarbij bedrijven *on demand* toegang geven tot *preconfigured cloud-based-omgevingen*. Binnen AI-software is daarom een enorme proliferatie van platformen, talen en toepassingen te zien.

Programmeertalen staan het een softwareontwikkelaar toe om instructies te schrijven (de broncode) die een computer uit kan voeren. Met betrekking tot AI zijn de programmeertalen Python, Scala en C++ populair. Binnen programmeertalen bestaan pakketten (packages) en bibliotheken (een set van pakketten). Een pakket of bibliotheek levert functionaliteiten die de ontwikkelaar niet zelf hoeft te schrijven. Zo zorgt bijvoorbeeld het simpele pakket ‘Add’⁴¹ ervoor dat een reeks getallen kan worden opgeteld zonder dat daar specifieke instructies voor worden geschreven. Het doel van pakketten en bibliotheken

is om de complexiteit te reduceren en de herbruikbaarheid van broncode te bevorderen.

Voor AI-toepassingen is een aantal relevante bibliotheken beschikbaar:

- Bibliotheken die wiskundige berekeningen, data-analyse en visualisatie makkelijk toegankelijk te maken (Pandas, NumPy, SciPy, Seaborn, Matplotlib);
- Bibliotheken die implementaties van AI-algoritmes en -modellen en -hulpmiddelen bevatten (scikit-learn, TensorFlow, PyTorch, Keras);
- Bibliotheken die AI-implementaties en -hulpmiddelen bevatten voor speciale intelligente taken zoals Computer Vision (OpenCV) of Natural Language Processing (NLTK).

Software voor de operationalisatie van AI wordt ook als dienst aangeboden, veelal als *cloud service*. Voorbeelden zijn Google Cloud ML Engine, Amazon Machine Learning, Accord.NET, Apple Core ML, Apache, Microsoft Azure ML. Deze zijn in de kern doorgaans gebaseerd op de eerder beschreven open-source-bibliotheken.

Low-code- en no-code-softwarepakketten. Daarnaast zijn er zogenoemde ‘low-code’- en ‘no-code’-oplossingen voor procesautomatisering die AI ondersteunen (Robotic Process Automation, RPA). Voorbeelden van rpa zijn UiPath, Blue Prism en Automation Anywhere. Het doel is om, zonder te programmeren, software te ontwikkelen die simpele processen automatiseert. Hierbij is het mogelijk om AI toe te passen voor taken die voor computers complexer zijn, zoals het herkennen van handgeschreven cijfers, maar dit is niet essentieel.

AI-accelerators zijn software of hardware die specifiek worden ontworpen om de uitvoering van AI-modellen te versnellen.⁴² De noodzaak voor specialistische hardware ontstaat door AI-toepassingen, zoals zelfrijdende auto’s, die een grote hoeveelheid berekeningen en geheugengebruik vereisen, terwijl er realtime resultaten moeten worden opgeleverd. Voorbeelden van specialistische processoren zijn de NVIDIA Tesla (AI-training), NVIDIA Drive PX (autonome voertuigen), Tensor Processing Units (Google cloud) en Visual Processing Units.

Cloudcomputing is een computerparadigma waarbij computingdiensten op demand geleverd worden aan eindgebruikers. Toepassingen variëren van data-opslag, webhosting en reken capaciteit.⁴³ Voor het aanbieden van deze clouddiensten en -producten zijn datacenters, als industriële, goed beveiligde

42

Li & Liewig 2020.

43

Khan 2019.

gebouwen die enorme clusters computerservers huisvesten, essentiële ondersteunde infrastructuur. Met de toename van de digitalisering in de samenleving neemt de rol van deze datacenters toe.

Edge-computing is een variant van networkcomputing waarbij de informatieverwerking dichterbij de eindgebruiker wordt gebracht, op de ‘randen’ (edges) van het netwerk.⁴⁴ De voornaamste reden voor deze ontwikkeling is om latentie (latency) te beperken in toepassingen die vertraginggevoelig zijn, zoals realtime verkeersmonitoring, surveillance.

Breedband internetinfrastructuur. Een land met een fijnmazig netwerk voor breedband mobiel internet (3G, 4G, en richting 5G) heeft betere kansen om de relevante data te verzamelen op een laag aggregatieniveau, actueel, en met een sterke geografische spreiding. Hetzelfde geldt voor de staat van het glasvezelnet voor de aansluiting van lokale fysieke data-infrastructuur.

Energienetwerk. Digitalisering vergt energie: energie voor het opereren van datacenters, energie voor apparatuur met een rol bij de dataverzameling (sensoren en actuatoren), maar ook energie voor het trainen en toepassen van AI-modellen. Met name voor Deep Learning is dit het geval, waar het doel is om een dieper en nauwkeuriger model te produceren zonder enige beperking in termen van berekening. Deze modellen zijn gegroeid in berekeningen (meestal in de GigaFlops) en geheugenvereisten (meestal in de miljoenen parameters of gewichten). Deze algoritmes vereisen een hoog rekenvermogen tijdens de training, aangezien ze moeten worden getraind op grote hoeveelheden gegevens terwijl ze tijdens de implementatie meerdere keren kunnen worden gebruikt. Met de verwachte groei van datacenters, is de verwachting dat de elektriciteitsvraag in 2030 zal stijgen tot tussen de 5 procent (inclusief efficiëntie maatregelen) en 30 procent van de nationale elektriciteitsvraag.⁴⁵

Deze energie komt van het nationale net voor elektriciteit, gas of een alternatieve energiedrager, of van decentrale productiefaciliteiten. Zo heeft Google zich ingekocht in een windpark voor de Nederlandse kust om de duurzame energievoorziening voor zijn datacentra veilig te kunnen stellen. Het nationale energienet, met de daarbij behorende opwekinstallaties, vormt dus ook onderdeel van de ondersteunende infrastructuur voor AI-systemen.

Ten slotte horen ook productiefaciliteiten tot de ondersteunende infrastructuur voor AI-systemen. Zoals we al beschreven bij de kern- en complementaire technologieën, zijn AI-systemen afhankelijk van hardware op het vlak van

informatietechnologie (IT). Voor een deel wordt de nodige hardware in Nederland geproduceerd en/of geassembleerd. De productiefaciliteiten die hiervoor worden ingezet, vormen belangrijke assets voor de Nederlands IT-sector. Daarnaast integreren bedrijven verschillende typen assets en leveren ze op basis daarvan specifieke producten en diensten. Een voorbeeld is de toepassing van AI op het gebied van de plantenveredeling, waarbij informatie van camera's gekoppeld wordt aan genetische data door een Nederlandse zaadveredelaar.⁴⁶

3.6 **Standaarden: randvoorwaarden in het ecosysteem**

In innovatieprocessen strijden verschillende standaarden om dominantie. Wie eigenaar is van, dan wel toegang heeft tot, een bepaalde standaard heeft daarmee een groot concurrentievoordeel.^{47,48} Hoe dominanter de standaard, hoe groter de *installed base* van gebruikers en hoe aantrekkelijker het wordt voor nieuwe gebruikers om zich daarbij aan te sluiten (netwerkeffecten).

Over de gehele waardeketen van AI zijn standaarden essentieel voor interoperabele toepassingen, maar ook om bij te dragen aan de uitlegbaarheid, transparantie en eerlijkheid van AI. In het eerste geval gaat het om standaarden voor data-uitwisseling en -ontsluiting, terwijl het in het tweede geval gaat om richtlijnen voor verantwoorde AI die zijn geoperationaliseerd in standaarden bijvoorbeeld standaarden voor opensourcemodelen. De functionele invulling van deze standaarden kan dus heel divers zijn in de AI-waardeketen, maar ook verschillen per sector. In hoofdstuk 5 gaan we nader in op de relevante standaarden per sector.

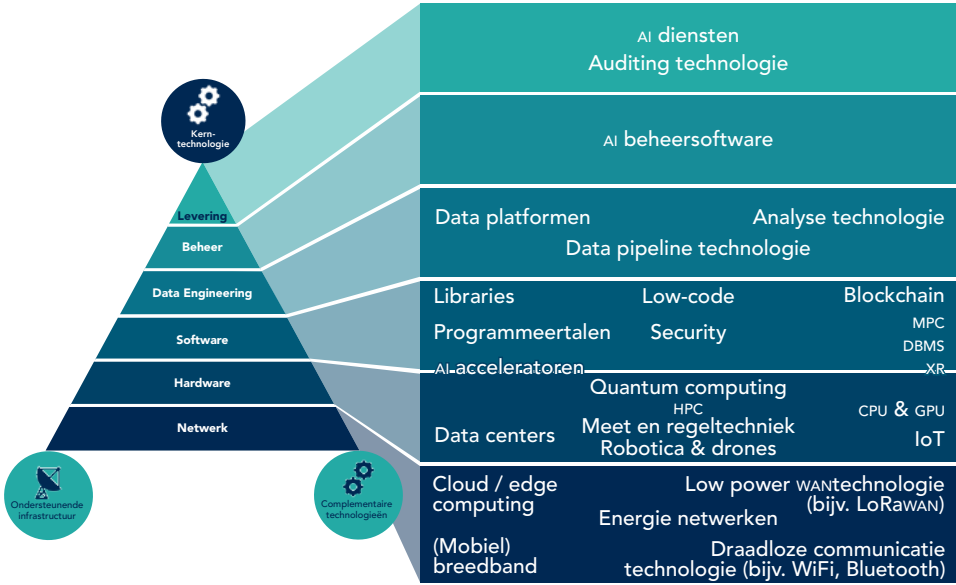
3.7 **Het technologische ecosysteem**

In de vorige paragrafen hebben we het AI-ecosysteem stapsgewijs ingevuld; het resultaat visualiseren we in figuur 3.6. In het volgende hoofdstuk vullen we dit ecosysteem in voor Nederland in zijn kracht en uitdagingen.

46 Zonneveld 2017.

47 Brunsson et al. 2012.

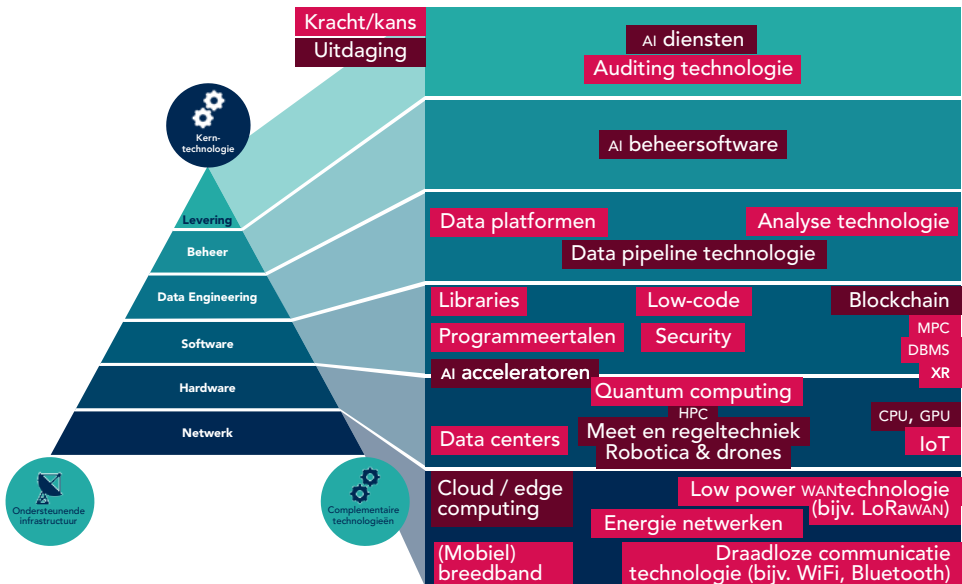
48 Garud et al. 2017.



Figuur 3.6 Een overzicht van de technologieën in het technologische ecosysteem van AI

4. Het technologische ecosysteem van Nederland in beeld

Met de kennis van het samenspel der technologieën rondom AI, beschreven in hoofdstuk 3, rest de vraag hoe het er met Nederland voor staat in dit opzicht. In dit hoofdstuk gaan we in op de kracht en de uitdagingen voor het Nederlandse technologische ecosysteem van AI. Wij gaan in op de uitdagingen en afhankelijkheden die spelen ten opzichte van buitenlandse partijen en de daarmee samenhangende risico's, maar ook op de kracht van het ecosysteem en de kansen die er zijn om die kracht te versterken en de uitdagingen aan te pakken. In figuur 4.1 vatten we deze inzichten samen.



Figuur 4.1 De krachten en uitdagingen van het Nederlandse technologische ecosysteem van AI

4.1 **Kracht in AI, maar afhankelijkheden van AI-diensten**

Nederland is sterk geëquipeerd als het gaat om AI-onderzoek. Nederland heeft een sterke positie in het globale veld van AI research & development. In de lijst van 25 AI-koplopers, opgenomen in het AI Index Rapport voor 2021 van de Universiteit van Stanford, staat Nederland op de zevende plaats met het aantal in journals gepubliceerde artikelen per inwoner. Daarentegen liggen er wel uitdagingen op het vlak van AI-diensten en AI-beheer, met name in de toegang tot de relevante AI-pakketten (packages) en bibliotheken (een set van pakketten). Hierbij valt op dat het overgrote deel van deze pakketten – ook de gratis en opensourcepakketten – geleverd wordt door techgiganten. Oligarchie van marktpartijen die een geïntegreerde oplossing bieden, krijgt een groot deel van de markt en raakt mogelijk buiten de invloedssfeer van de overheid. Wanneer bijvoorbeeld een AI-module voor gezichtsherkenning wordt ingebed in Nederlandse AI-producten en -diensten, dan is er minder controle over de waarborging van publieke waarden. Ook is de vraag in hoeverre deze pakketten open source blijven. Het Europese initiatief AI4EU wil tegenwicht bieden aan deze grote techgiganten door het eerste Europese AI On-Demand-platform te creëren om bronnen, tools, kennis en algoritmes te delen tussen Europese deelstaten.⁴⁹

Doordat onderzoek en wetgeving naar het controleren en monitoren van AI nog vrij jong zijn, zijn er nog geen duidelijke voorlopers op dit gebied. De Europese Commissie heeft onlangs een richtlijn voorgesteld die zal fungeren als het juridische raamwerk voor AI⁵⁰, en die mogelijk ruimte biedt voor het ontwikkelen van deze technologieën. Nederland heeft daarom een kans om dit wetgevingsproces proactief in te gaan, zodat AI-diensten aan nader te omschrijven kwaliteitseisen en regels moeten voldoen.

4.2 **Brede toegang tot complementaire technologie**

Nederland heeft daarnaast breed toegang tot complementaire technologie. Het Advanced Technologies for Industry-dashboard geeft aan dat Nederland in de technologieontwikkeling op de derde plek van de EU-27-landen staat. Onder de categorie technologieontwikkeling worden indicatoren opgenomen zoals de handelsbalans, het aandeel patenten en het aandeel wereldwijde export. Deze score zegt dus iets over de mate waarin Nederland afhankelijk is van buitenlandse partijen.

Nederland presteert hoger dan het gemiddelde van de EU-27 op de complementaire technologieën Internet-of-Things, (cyber)security, connectiviteit, waaronder draadloos internet en XR (augmented en virtual reality) en blockchain. Op het gebied van robotica presteert Nederland rond het EU-gemiddelde. Zo staat Nederland op de zesde plek als het gaat om investeringen in robotica als geavanceerde technologie, op de achtste plek als het gaat om investeringen in patenten, en op de twaalfde plek voor investeringen in *technology uptake* door bedrijven en industrieën.⁵¹ Hiermee is er dus nog veel ruimte voor verbetering in het veld van robotica.

Eén technologie springt eruit: ten opzichte van andere EU-27 landen ontwikkelt Nederland minder cloudcomputingproducten en -diensten dan gemiddeld.⁵² Deze afhankelijkheid van buitenlandse partijen voor cloudcomputing met een rol voor de gehele waardeketen van AI-toepassingen, is een risico. Volgens het rapport van Deloitte over *State of AI* gebruikt 87 procent van de bedrijven clouddiensten voor hun AI, en volgens het CBS ligt het gebruik van cloudcomputing bij Nederlanders ouder dan 12 jaar op 49 procent.⁵³ Verder is Nederland de vierde grootste markt voor cloudinfrastructuur in Europa. De Nederlandse cloudmarkt wordt wel gedomineerd door buitenlandse partijen. Zo staan Amazon, Microsoft en Google in de top drie en komt KPN op de vierde plek.⁵⁴

Er liggen kansen om de datacenterinfrastructuur te versterken zodat ze met lokale datacentra kunnen voorzien in de vraag van Nederlandse partijen, maar ook met het oog op de globale cloudmarkt. Momenteel heeft Nederland aantrekkelijke voorwaarden die ons op de vierde plek plaatsen in de 2020 Data Centre Ranking van Investment Monitor, voor wat betreft de aantrekkelijkheid om een datacenter op te zetten.

Voor quantumtechnologie hebben de VS en China duidelijk de leiding als het gaat om investeringen, en binnen Europa is Frankrijk de voortrekker.⁵⁵ Toch zijn er kansen doordat de positie voor Nederland stijgt, met name door nieuwe groeifondsinvesterings in het opschalen van het Nederlandse quantumecosysteem Quantum Delta NL.⁵⁶

51 EC (n.d.).

52 Ibid.

53 CBS 2020a.

54 Synergy Research Group 2020.

55 Inria 2020.

56 Rijksoverheid 2021.

4.3 Sterke positie in ondersteunende infrastructuur

Nederland heeft een sterke positie op het gebied van de ondersteunende infrastructuur door de aanwezigheid in ons land van datacenters, de toegang tot het internet en energienetwerk en de aanwezigheid van cybersecuritytechnologie.

De aanwezigheid en de kwaliteit van onlineplatformen in Nederland, waaronder dataplatformen, kan als kracht worden beschouwd. Volgens de studie *ICT, Kennis, en Economie*⁵⁷ van het CBS zijn er ongeveer 700 onlineplatforms actief⁵⁸ in Nederland, over diverse sectoren waar data en algoritmes de belangrijke elementen zijn. Daarbij is 53 procent van de platformen gratis te gebruiken. Het overgroot deel van de platformen richt zich op de nationale markt, in 2018 richtten slechts 34 procent van platforms zich op de internationale markt. Tevens maakten in 2018 slechts 29,6 procent van de platformen winst. Welke kansen er zijn voor deze platformen om op te schalen, bijvoorbeeld naar internationale markten, en om daarmee de winstgevendheid en continuïteit te verbeteren is onderwerp voor nader onderzoek.

Nederland is leidend binnen Europa op het gebied van de toegang tot het internet – wat nodig is om data uit te kunnen wisselen en te kunnen communiceren tussen AI-systemen. Zo beschikt in Nederland 97 procent van de huishoudens over een breedbandinternetverbinding (nummer 1 in Europa)⁵⁹, en hiervan is 87% dagelijks online. Hetzelfde geldt voor het gebruik van (mobiele) digitale apparatuur. In 2019 maakte 82,5 procent van de bevolking ouder dan 12 jaar gebruik van een mobiele telefoon, 35 procent van een laptop, 27,5 procent van een tablet en 10,9 procent van een ander mobiel of verbonden apparaat.⁶⁰

Verder kent Nederland een betrouwbaar en fijnmazig energienetwerk. In 2019 kende het Nederlandse elektriciteitsnet een beschikbaarheid van 99,99 procent, waarmee het in de wereldwijde top staat.⁶¹ Naast een betrouwbaar energiesysteem, worden de opzet en de vestiging van digitale ondernemingen, zoals datacenteroperators, gestimuleerd door een competitieve elektriciteitsprijs van 0,12 euro per kilowattuur voor grootverbruikers in 2020, ten opzichte van een eu-gemiddelde van 0,15 euro per kilowattuur.⁶²

57 CBS 2020b.
 58 Gedefinieerd als 'gevestigd in Nederland'.
 59 Eurostat 2021a.
 60 CBS 2020a.
 61 Netbeheer Nederland 2021.
 62 Eurostat 2021b.

4.4 Brede toegang tot data, met uitdagingen

De eerdergenoemde sterke punten in het netwerk van mobiele apparatuur en de beschikbaarheid van breedbandinternet stimuleren de databeschikbaarheid in Nederland. Verder is er gedegen beleid om vanuit de overheid de voorziening van open data te verbeteren. Volgens de OURData-index van de OECD op openoverheidsdata staat Nederland op plek 13 tussen de OECD-landen op basis van de databeschikbaarheid, de datatoegankelijkheid en de overheidssteun voor data(HER)gebruik.⁶³ Nederland kent een brede beschikbaarheid van open data over verschillende sectoren, blijkt uit de Open Data Barometer, een internationaal expert-beoordelingssysteem gebaseerd op scores door lokale informanten. Uit dezelfde Open Data Barometer blijken er ook uitdagingen te zijn voor de toegankelijkheid en de bruikbaarheid van de data, met name in de consistentie waarmee data in machineleesbare formaten beschikbaar zijn, de kosten en licenties van data, de actualiteit van de data en het ontbreken van metadata.⁶⁴

4.5 Uitdagingen in toegang tot hardware

De meeste uitdagingen liggen bij de toegang tot hardware. Cruciaal voor AI-toepassingen is dat er voldoende en betrouwbaar rekenvermogen beschikbaar is. Dat vermogen wordt geleverd door CPU's en GPU's (zie hoofdstuk 3): een markt die gedomineerd wordt door Amerikaanse en Aziatische bedrijven. In de GPU-markt staat het Amerikaanse NVIDIA aan kop, met een marktaandeel van 56 procent in 2019, ten opzichte van Intel met 18 procent en AMD met 26 procent.⁶⁵ Verder levert NVIDIA maar liefst 97,4 procent van alle rekenkracht van de vier grootste wereldwijde clouddiensten.⁶⁶ Door de verwachte groei in de vraag naar deze CPU's en GPU's brengt de afhankelijkheid van deze buitenlandse leveranciers risico's met zich mee.

Naast CPU's en GPU's voor het rekenvermogen, zijn er talrijke typen van geïntegreerde schakelingen (*chips*) die belangrijk zijn voor AI-toepassingen. Deze chips hebben een rol bij de opslag, het geheugen, de analyse en de netwerken (IoT) voor AI, maar ook voor robotica. Relevant voor AI zijn de Field Programmable Gate Array (FPGA) chips en de Application Specific Integrated Circuits (ASIC) chips. Netto is Nederland een importeur van deze elektronische chips. Zo werd in 2019 voor een bedrag van 8,5 miljard euro aan elektronische chips geïmporteerd uit voornamelijk Azië (ronde de 70 procent), terwijl voor 7,8 miljard euro aan elektronische chips werd geëxporteerd. De vraag naar deze

63 OECD 2019.

64 OpenData Barometer 2016.

65 Forbes 2020.

66 Forbes 2019.

chips zal blijven toenemen en zo ook de mogelijke risico's die gepaard gaan met de afhankelijkheid van de Aziatische leveranciers. Terwijl het Nederlandse ASML de markt van chipsmachines domineert, worden de meeste chips dus geïmporteerd. Daarnaast dreigen er wereldwijde tekorten aan chips te ontstaan, terwijl de Europese Unie deze productiecapaciteit niet voldoende in huis heeft.⁶⁷

Grootschalige AI wordt ook wel een supercomputingopgave genoemd door de belangrijke rol van geavanceerd rekenvermogen. Op de top 500-lijst van snelste supercomputers ter wereld uit 2020, komt de eerste Nederlandse supercomputer pas voor op plek 381. In totaal is Nederland op de lijst vertegenwoordigd met vijftien supercomputers. Opvallend daarbij is dat Lenovo de leverancier is van elk van deze vijftien supercomputers. Als opvolger van CARTESIUS, de intussen gedateerde nationale supercomputer van de coöperatie SURF, komt in 2021 een nieuwe nationale supercomputer uit, die in de top 30 van de top 500-ranking zou moeten komen. Ook deze nieuwe supercomputer – met een capaciteit van 14 petaflops/seconde, oftewel 100.000 aan elkaar gekoppelde laptops en tien keer zoveel als CARTESIUS – zal geleverd worden door Lenovo.⁶⁸ Hierdoor ontstaat er een sterke afhankelijkheid van deze leverancier.

Samenvatting

Nederland heeft een sterke positie op het gebied van de complementaire technologie en de ondersteunende infrastructuur. Uitdagingen liggen op het vlak van cloudcomputing en de toegang tot hardware. Nederland heeft een sterke kennispositie op het gebied van AI-technologie, maar is daarvoor wel sterk afhankelijk van AI-diensten van techgiganten.

5. Voorbeelden uit vijf sectoren

De vorige hoofdstukken gaven inzicht in het samenspel der technologieën rondom AI en de positie van Nederland. In dit hoofdstuk kijken we specifiek naar vijf toepassingssectoren, en de kritische elementen om de toepassing van AI in deze sectoren te stimuleren. De casestudies zijn puur illustratief en geven geen volledig beeld van de vraag naar het technologische ecosysteem vanuit verschillende sectoren. Inzichten voor deze casestudies zijn afkomstig uit desk research en interviews met experts.

5.1 AI-ecosysteem van de sector Mobiliteit en Logistiek

AI kan bijdragen aan een duurzame sector Mobiliteit en Logistiek, waarin zo min mogelijk energie wordt verbruikt, waarin de bereikbaarheid en de doorstroming efficiënt zijn, waarin mobiliteit op een slimme manier gedeeld wordt met minder gebruik van de publieke ruimte en waarbinnen iedereen zich veilig kan verplaatsen. AI zit in verschillende mobiliteitssystemen om deze ambities te realiseren. Veelbelovende toepassingen van AI zijn onder andere zelfrijdende auto's, *truck platooning*⁶⁹, optimalisatiesystemen van mobiliteitsstromen, deelmobiliteit en optimalisatie van logistieke problemen.

Elementen in het technologische ecosysteem

Kerntechnologieën

Met bedrijven als Daf Trucks, Nedcar, talloze toeleveringsbedrijven en onderzoeksgroepen bij universiteiten en TNO beschikt Nederland over een grote toeleverende sector voor de auto-industrie, maar relatief weinig eigen automerken. Dat betekent dat de meeste zelfrijdende (of autonome) auto's die in Nederland op de weg komen, in het buitenland en in buitenlandse verkeerssituaties worden getraind. Additionele training op Nederlandse infrastructuur en regelgeving zal daarom nodig zijn.

Binnen Europa wordt gewerkt aan modellen en algoritmes om testscenario's af te leiden op basis van gebruikersdata voor de validatie van het energieverbruik en de emissie-uitstoot van voertuigen in de praktijk. Een voorbeeld is de Random Cycle Generator, een methode om op realistische wijze rijgedrag en emissies te testen.⁷⁰ Voor de data-uitwisseling in de sector wordt gewerkt aan

69 Vrachtwagens die geautomatiseerd en direct achter elkaar in konvooien rijden van drie tot vijf wagens.

70 TNO 2019

platformen, zoals IDS, en authenticatiemechanismes, zoals iSHARE.⁷¹ Hierbij is ook kennis nodig over de manier waarop data worden gevalideerd en gelabeld, situaties worden geclassificeerd en complexe relaties worden geïdentificeerd.

Complementaire technologieën

Sensoren (radar, LIDAR, enzovoort) en actuatoren (die bijvoorbeeld automatisch bijsturen) zijn essentieel voor autonome voertuigen, om het overige verkeer en de omgeving waar te kunnen nemen en om het gedrag van het voertuig daaraan aan te passen. Voordat volledig autonome voertuigen realiteit worden, is nog een aantal belangrijke innovaties nodig op het gebied van communicatie en signalen, actuele hogedefinitiekaarten en cybersecurity. Voor de korte termijn kampt de sector vooral met een tekort aan chips.

Voor de implementatie van autonoom rijden in Nederland dienen nog methodologische ontwerpkeuzes gemaakt te worden. Deze zijn bepalend voor de vereiste infrastructuur en de daarin in te bedden technologie. Een infrastructuurgedreven scenario, waarbij de technologie vooral is ingebed in de weg- en verkeersinfrastructuur, is mogelijk of een voertuiggedreven scenario, waarbij de technologie vooral is ingebed in het voertuig zelf. In het laatste geval kunnen de kosten van de nodige sensoren enorm oplopen, wat autonoom rijden economisch onrendabel maakt. Daarin ligt een uitdaging.

Verder is de mobiliteitssector gevoelig voor cyberaanvallen, bijvoorbeeld in de communicatie tussen weginfrastructuur en voertuigen. Cybersecurity is een belangrijke complementaire technologie om de veiligheid van AI-systemen in de mobiliteitssector te waarborgen.

Een belangrijke ontwikkeling is dat ten behoeve van AI specialistische processoren (AI-accelerators) worden ontwikkeld. Deze kunnen zich specifiek op de behoefte aan rekenkracht in autonome voertuigen richten. Het gaat hierbij om een gespecialiseerde complementaire asset.

Ondersteunende infrastructuur

Nederland is een klein land met een goede infrastructuur, en het heeft een sterke positie op het gebied van de onderliggende infrastructuur om AI-systemen toe te passen. Communicatie tussen voertuigen en de infrastructuur, gebruikers en andere voertuigen is hierbij essentieel. Nederland heeft een hoge dekking qua internet, en via het 5G-netwerk kan de auto communiceren met andere systemen. Er is echter nog meer onderzoek en ontwikkeling nodig naar de juiste sensoren en communicatietechnologie. Om realtime

verkeersmonitoring mogelijk te maken is het nodig om *edge computing* verder te ontwikkelen.

Databases en standaarden

De uitwisseling van data tussen voertuigen en infrastructuur is essentieel. Protocolen en standaarden daarvoor zijn nog in ontwikkeling. Voor verantwoorde AI-systemen moeten de Europese normen en waarden, juridische afspraken en ethiek worden ingebed in de AI-systemen. Vooral in kritische situaties, zoals de mobiliteitssector, is dit van belang. Hier spelen ook ethische vragen een rol.

Conclusie: kritische elementen

Bij de belangrijkste kritische elementen voor de toepassing van AI binnen de sector mobiliteit en logistiek gaat het ten eerste om de verdere ontwikkeling van algoritmes en platformen voor data-uitwisseling, inclusief het trainen van algoritmes. Deze moeten, ten tweede, gebaseerd zijn op ontwerpkeuzes rond autonoom rijden; een vraag die Europees moet worden aangepakt. Een derde element heeft te maken met data en informatie. Hierbij spelen sensoren en actuatoren (beschikbaarheid en kosten) een belangrijke rol alsmede actuele hogedefinitiekaarten en de rekenkracht (EDGE computing) om al deze informatie te kunnen combineren met data uit bijvoorbeeld 5G en GPS. Ten vierde zijn vragen rond veiligheid en privacy nog onvoldoende beantwoord.

5.2 AI-ecosysteem van de sector Zorg

Door vergrijzing en een ongezonde leefstijl neemt het aantal mensen met chronische aandoeningen, zoals dementie en diabetes, toe. De komende jaren zal dit aantal alleen maar stijgen. Dit legt een grote druk op het zorgsysteem. AI verandert de manier waarop de preventie, detectie en behandeling van ziektes worden vormgegeven. Door AI kan een toekomstige patiënt al gezondheidsadvies krijgen voordat deze ziek wordt, worden ziektes sneller gedetecteerd en kan de behandeling geoptimaliseerd worden voor de individuele eigenschappen van een patiënt, onder andere door point-of-care-toepassingen, *remote monitoring* via IoT-wearables en gepersonaliseerde medicijnen en levensstijlinterventies. Andere toepassingen die resulteren in een verbetering van de persoonlijke zorg, liggen onder andere in de gerobotiseerde chirurgie.

Elementen in het technologische ecosysteem

Kerntechnologieën

In de kern gaat het bij AI voor gezondheid en zorg om algoritmes die betekenisvolle verbanden kunnen leggen tussen biomedische kenmerken van het individu, gedragskenmerken (voeding, bewegen, leefstijl in het algemeen), gemeten en ervaren gezondheid en ziekte en de persoonlijke behandeling.

Deze algoritmes zijn bijvoorbeeld nodig voor expertsystemen die artsen ondersteunen bij het diagnosticeren van ziektes of voor gepersonaliseerde adviezen over gedrag en gezondheid op basis van biomedische data, data van activiteitstrackers en andere sensoren en behoeften.

Door de sterk gedecentraliseerde aard van zorginstellingen in Nederland is de uitwisseling van data, en daarmee de beschikbaarheid voor het trainen van AI-modellen, een grote uitdaging. Om deze reden, en vanwege de gevoeligheid van persoonlijke gezondheidsdata, worden technologieën voor het verantwoord en veilig uitwisselen van data beschouwd als kerntechnologieën in de zorg. Hierbij wordt ook groot belang gehecht aan technologie voor data-pipelines en -analyse. Enkele voorbeelden in de technologie zijn: XNAT, cBioPortal, Molgenis, Jupyter Notebooks, en Ldot. Daarnaast maken in de zorg ook oplossingen, zoals Personal Health Train⁷², die een essentiële rol spelen bij data-uitwisseling en -hergebruik via de FAIR-principes (Findable, vindbaar, Accessible, toegankelijk, Interoperable, uitwisselbaar, en Reusable, herbruikbaar)⁷³, deel uit van de kerntechnologieën.

Complementaire technologieën

De toename van de beschikbaarheid van data en de opkomst van complementaire technologieën, zoals sensoren, wearables en robotica, dragen bij aan innovaties in de zorg. Sensoren worden steeds preciezer en kleiner, en vinden hun plek onder andere in de populaire wearables en woninggerelateerde IoT. Dit is een belangrijke complementaire technologie voor AI, omdat hierdoor meer en ook nieuwe data beschikbaar komen over patiënten. Nederland is een netto-exporteur van medische sensoren en apparaten en heeft relatief veel bedrijfsactiviteit op deze complementaire technologie.⁷⁴

Robotica speelt een rol bij de ondersteunende zorg (het overnemen van huishoudelijke taken) en maakt preciezere chirurgie mogelijk. De opkomst van 5G maakt het mogelijk om realtime op afstand te opereren.

Ondersteunende infrastructuur

Het is van groot belang om een ondersteunende data-infrastructuur op te bouwen. Recent heeft het project Health-RI dit in Nederland een impuls gegeven. Dit project is goedgekeurd in het kader van het Groeifonds en beoogt datagedreven zorg te stimuleren door medische data te ontsluiten voor onderzoek via de Personal Health Train.

72 Personal Health Train n.d.

73 Go FAIR n.d.

74 PRODCOM data.

Biobanken spelen een grote rol als databases van weefseltypen, pathologisch materiaal en nog veel meer. Deze biobanken zorgen voor overzicht in wat beschikbaar is, terwijl de samples de belangrijke assets zijn voor AI-toepassing. Op Europees niveau is BBMRI-ERIC een ondersteunde infrastructuur van meer dan 600 biobanken om biomedisch onderzoek te bevorderen en nieuwe geneesmiddelen en behandelingen mogelijk te maken.⁷⁵

Databases en standaarden

Er zijn nog beperkte trainingsdata beschikbaar voor algoritmes. De paradox van gepersonaliseerde gezondheid is dat voor individueel advies data nodig zijn over grote groepen mensen (patiënten en gezonden). Maar zelfs binnen hetzelfde ziekenhuis worden data vaak nog niet uitgewisseld, omdat deze niet kunnen worden gekoppeld (ze staan in hun eigen silo en links zijn niet te maken door allerlei technische en organisatorische problemen). Standaarden voor het verzamelen, opslaan en gebruiken van data moeten het makkelijker maken deze data te delen. Het genereren en hergebruiken van data, zonder dat die fysiek gedeeld worden, tussen instellingen (bijvoorbeeld in de context van Health-RI) is een belangrijke voorwaarde om tot succesvolle toepassingen van AI in de zorg te kunnen komen.

Veel gezondheidsapps worden door private partijen op de markt gebracht. Het verdienmodel van deze bedrijven is vaak gebaseerd op het verwerven van deze data, wat het delen daarvan bemoeilijkt.

Onzekerheid over de controle van gezondheids- en zorgdata vormt een groot probleem. De ontwikkeling van zorgdatacoöperaties als juridische entiteit die de zorgdata valoriseren, biedt een alternatief voor private partijen die het eigendom van data in handen hebben. Zorgdatacoöperaties fungeren als databank. De leden ervan (patiënten, burgers) blijven in controle over de data die zij inbrengen en kunnen een vergoeding of waarde ontvangen voor het gebruik ervan.⁷⁶

Conclusie: kritische elementen

Belangrijke kritische elementen met betrekking tot AI binnen de sector Gezondheid en Zorg zijn ten eerste het ontwikkelen van een veilige en betrouwbare infrastructuur voor het delen van data. Vervolgens zijn veiligheid en privacy van nog groter belang dan in andere sectoren, omdat het om zeer persoonlijke data over mensen gaat. Een derde element is dat op basis van deze data algoritmes getraind worden voor bijvoorbeeld patroonherkenning (bijvoorbeeld verschillende typen kankercellen) en de relaties tussen gezondheid en gedrag.

75

BBMRI-ERIC n.d.

76

Digital Health Europe n.d.

5.3 AI-ecosysteem van de sector Infrastructuur

In de *Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte* streeft het kabinet drie doelen na voor de Nederlandse civiele infrastructuur: een verbetering van de concurrentiekracht, een verbetering van de bereikbaarheid, en een verbetering van de leefomgeving, het milieu en het water. De civiele infrastructuur speelt hierbij een belangrijke rol. Belangrijke AI-toepassingen draaien om het beoordelen van de resterende levensduur van deze infrastructuur in een situatie waarbij de onderbreking van het intensieve gebruik ervan voor vervanging of renovatie grote gevolgen heeft. Robotica en drones bieden een oplossing voor inspectie op gevaarlijke plekken en meer in het algemeen zijn met sensortechnieken data over de infrastructuur te verkrijgen waarmee de toestand ervan beter is in te schatten. AI-technieken helpen om de data te vertalen in betekenisvolle informatie over de infrastructuur.

De aanleg, de exploitatie en het onderhoud van deze civiele infrastructuur ligt in de meeste gevallen in handen van publieke partijen. Dit betekent dat een opschaling van AI-toepassingen in de civiele infrastructuur alleen plaatsvindt door deze in te bedden bij die publieke partijen, zoals Rijkswaterstaat. De vele advies- en ingenieursbureaus die de beoordeling van de infrastructuur mede uitvoeren, kunnen ook AI-diensten leveren, maar dit gebeurt nog maar beperkt. Kenmerkend voor de infrastructuur is de lange termijn van projecten, waarvan de instandhouding vrij analoog is (bijvoorbeeld viaducten, bruggen gaan tientallen jaren mee), waardoor digitale (meet)systemen vaak achterhaald raken. Daarnaast zorgt dit kenmerkende verschil er ook voor dat contracten tussen de overheid en advies- en ingenieursbureaus, en ook onderzoekinstellingen zoals TNO, lange tijd lopen. Afhankelijk van de striktheid van de contractuele afspraken impliceert dit dat digitale systemen lang mee gaan, maar hierdoor wel verouderen. Daarnaast dienen innovaties binnen dit juridische raamwerk te passen, hetgeen innovaties mogelijk vertraagt. Om ervoor te zorgen dat digitale systemen in deze langetermijnprojecten toekomstbestendig zijn, is het essentieel om standaarden te ontwikkelen en te gebruiken.

Elementen in het technologische ecosysteem

Kerntechnologieën

Voor levensduurverlengende toepassingen van AI in de infrastructuur is vooral een kernrol weggelegd voor hybride AI-toepassingen. Dit houdt in dat gewerkt wordt aan AI waarbij het *human-in-the-loop*-principe essentieel is. Denk hierbij aan de interactie tussen mens en AI voor risicomanagement bij het onderhoud van een brug, waarbij het eindoordeel bij de mens ligt, om rampen en ongelukken te voorkomen. Patroonherkenning is belangrijk bij het monitoren van de belasting en de slijtage van de infrastructuur.

Hybride heeft hier twee betekenissen. Naast hybride in de zin dat zowel de machine als de mens belangrijk is, is de toepassing van AI ook hybride in de zin dat naast de datagestuurde aanpak ook de modelgestuurde aanpak belangrijk is. Dit is bijvoorbeeld relevant bij het berekenen van de sterkte van constructies. Belangrijk is de integratie van de twee. Belangrijke technologische kennis in Nederland richt zich op deze laatste vorm van hybride AI-methodes, waarbij bestaande kennis gecombineerd wordt met data en AI. Dat betekent bijvoorbeeld dat bestaande simulatiemodellen nu verrijkt kunnen worden met data afkomstig van sensoren. AI kan zo gebruikt worden om bestaande modellen en berekeningen (bijvoorbeeld sterkteberekeningen gebaseerd op de eindige-elementenmethode) te verbeteren.

Voor belangrijke infrastructurele werken wordt daarnaast onderzocht of een digitale kopie (digital twin) ontwikkeld kan worden en uit welke componenten deze dient te bestaan. In het algemeen gaat het hierbij om een model dat het gedrag van de infrastructuur (bijvoorbeeld een brug of dijk) nabootst, gevoed met data uit de sensoren. AI speelt een belangrijke rol bij de ontwikkeling en het gebruik van digital twins.

Complementaire technologieën

Robotica is een belangrijke complementaire technologie. Het inzetten van een door AI ondersteunde servicerobot voor *remote maintenance* op gevaarlijke of moeilijk bereikbare plekken is een voorbeeld.

Digital twins vormen een lijn van technologische ontwikkeling die door AI kunnen worden verbeterd (zelflerende digital twins). Met de ontwikkeling van AI voor geavanceerde simulatie, al dan niet gekoppeld aan digital twins, groeit ook de vraag naar rekenvermogen en dus naar CPU/GPU/HPC.

Momenteel wordt veel inspectie van infrastructuur uitgevoerd door en voor bijvoorbeeld Rijkswaterstaat en ProRail (zie Box 1). Door de omvang van de infrastructuur kunnen informatie- en communicatienetwerken, bestaande uit diverse typen complementaire technologieën, geconfronteerd worden met grote hoeveelheden data. Er is onderzoek nodig naar de schaalbaarheid en onderhoudbaarheid van deze systemen.

Box 1: Integrale analyse van spoorstaafgebreken

Om het spoor veiliger te maken en efficiënter onderhoud te plegen, ontwikkelt ProRail een AI-systeem om in een vroegtijdig stadium inconsistenties en beschadigingen aan het spoor te ontdekken, en door middel van gepland onderhoud het probleem op te lossen. Gaat een spoorstaaf immers kapot, dan kunnen er tijdelijk geen treinen over dat deel van het spoor rijden. Daartoe ontwikkelt ProRail automatische beeldherkenning door middel van machine learning. Op deze manier kan een AI-systeem automatisch beschadigingen detecteren uit een grote hoeveelheid camerabeelden en sensordata en daarmee de onderhoudsplanning ondersteunen.⁷⁷

Ondersteunende infrastructuur

Netwerken van sensoren en communicatietechnologie zijn nodig om data over de infrastructuur te genereren en te delen. Wanneer er in de toekomst meer monitoring op afstand plaatsvindt, dan groeit het belang van deze technologie.

Databases en standaarden zijn ook van belang voor datadeling. Naast digital twins, wordt datadeling gezien als de sleutel tot verdere digitalisering. Standaarden voor AI en datadeling ontbreken nog in deze sector, terwijl er wel behoefte aan is. Een voorbeeld van de ontwikkeling van standaarden zijn de Object Type Libraries, die zorgen voor de interoperabiliteit waarvan datadeling op het gebied van bijvoorbeeld Asset Lifecycle Information Management afhankelijk is in zowel de publieke als de private sector.

Conclusie: kritische elementen

De meest kritische elementen met betrekking tot AI en infrastructuur hebben ten eerste te maken met de ontwikkeling van AI-diensten, met name hybride methodes en algoritmes. Deze diensten gebruiken AI om bestaande modellen te verrijken met informatie uit sensorsystemen. Het tweede punt is het netwerk van de sensoren zelf, dat de informatie moet leveren. Daarbij moet rekening worden gehouden met de lange termijn van projecten, waardoor deze meetsystemen snel achterhaald raken. Een derde kritisch element betreft het ontwikkelen van digital twins van kritieke infrastructuur, wat de basis vormt voor onder andere predictive maintenance. Hiervoor is de ondersteunende infrastructuur voor het op afstand monitoren essentieel. Ten slotte kunnen zelflerende robots een belangrijke rol spelen bij de controle en het onderhoud van de infrastructuur.

5.4 AI-ecosysteem van de sector Landbouw

Nederland is de tweede voedslexporteur ter wereld en maakt door technologische innovaties, zoals klimaatregeling in kassen en zaadveredeling, zeer efficiënt gebruik van de beschikbare grond en arbeid.⁷⁸ De Nederlandse landbouw is daarmee één van de efficiëntste ter wereld. Daarnaast is de Nederlandse melkveesector een van de meest productieve van Europa, met de hoogste melkproductie per koe.⁷⁹ Belangrijke uitdagingen in de landbouw hebben te maken met duurzaamheid (uitstoot van schadelijke gassen zoals stikstof, methaan en CO₂, bodemvruchtbaarheid), zoönosen (bijvoorbeeld Q-koorts), dierenwelzijn en producentenprijzen die onder druk staan door de marktmacht van de afnemers. Daarnaast kent de landbouwsector enige leegloop. Zo daalt het aantal landbouwbedrijven met een bedrijfsopvolger al tientallen jaren, met name in het midden- en kleinbedrijf.⁸⁰ Dit heeft – mede door de hoge arbeidskosten – als gevolg dat automatisering belangrijker geworden is. De sector is dan ook inmiddels begonnen aan een digitaliseringsslag.

De ontwikkeling en toepassing van AI in de agrifoodsector begint op gang te komen en Nederland speelt op een aantal onderwerpen een leidende rol. De belangrijkste zijn robotica, autonome kassen, *precision farming* en *smart breeding*, *food processing*, circulaire landbouw en gepersonaliseerde voeding.⁸¹

De agrifoodsector is zeer breed en bestaat uit verschillende subsystemen: de akkerbouw, de glastuinbouw, de veeteelt, de zaadveredeling en de humane voeding vormen daarvan slechts enkele voorbeelden. De subsystemen verschillen op een aantal punten. Zo is de glastuinbouw een gedefinieerde omgeving waar weinig verrassingen kunnen voorkomen, dit in tegenstelling tot de akkerbouw (in de open lucht). De veeteelt is niet zozeer gedefinieerd, maar de melkrobots die hier worden ingezet wel. Die verschillende subsystemen stellen verschillende eisen aan AI. De algemene trend is dat AI van waarde is om optimaal te produceren op basis van metingen van een individuele plant of een individueel dier.

Elementen in het technologische ecosysteem

Kerntechnologieën

Om te beginnen spelen *dataplatvormen* een belangrijk rol in verschillende agrofood-ecosystemen. In de akkerbouw ontwikkelen grote bedrijven als Claes en John Deere steeds meer tot *dataplatvormen* op het gebied van *smart farming*.

78 Viviano 2017..

79 Wageningen University (n.d.).

80 CBS 2021.

81 NLAIC n.d.

Het koppelen van data over bodemkwaliteit, water, plantengroei, ziektes en plagen en weer en klimaat is zeer waardevol voor de boer. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is het eigendom van de data die landbouwmachines, drones en andere sensoren en meetinstrumenten verzamelen. De *modellen, analysetools, algoritmes* en de *informatiediensten* die hierop gebaseerd zijn, worden vaak gecontroleerd door een beperkt aantal aanbieders. JoinData⁸² is een onafhankelijk dataplatform waarbij de boer eigenaar is van de brondata. Een gelijk speelveld met meerdere aanbieders en gezonde concurrentie tussen partijen is een belangrijke voorwaarde voor AI.

Uiteindelijk leidt dat tot AI-gedreven producten en diensten. Belangrijke voorbeelden zijn robots die patronen herkennen en daarbij autonoom ingezet kunnen worden om groente en fruit te onderhouden, te oogsten en te sorteren. Lely produceert melkrobots die steeds slimmer worden en meerdere diensten combineren (zie box 3). Adviezen over teeltplannen, bemesting, voeding en gezondheid van dieren, management van kassen, gepersonaliseerde voeding, enzovoort, vormen belangrijke op AI gebaseerde diensten.

Bij autonome kassen speelt AI een rol bij de geavanceerde modellen voor klimaatbeheersing, optimaal gebruik van middelen en automatisering van handelingen over het gehele productieproces. Hierbij speelt zowel de toepassing in de Nederlandse tuinbouw een rol, als ook de export van autonome kastechnologie naar het buitenland. Wageningen University & Research (WUR), TU Delft, TNO en een aantal kassenbouwers en technologieontwikkelaars voor de kassenbouw spelen hier een rol. Zo houdt WUR jaarlijks een wedstrijd voor de beste autonome KAS-AI.⁸³ Hiervoor zijn naast kerntechnologieën ook complementaire technologieën en infrastructuur nodig.

Voor gepersonaliseerde voeding zijn AI-algoritmes onmisbaar om verzamelde data te vertalen, bijvoorbeeld door sensoren in smart watches naar gepersonaliseerde voedings- en gezondheidsadviezen. WUR speelt hierbij een belangrijke rol, onder andere in het samen met IMEC opgezette One Planet Research instituut.

Complementaire technologieën

Een van de belangrijkste complementaire technologieën betreft *meet- en regeltechniek & sensoren*. Deze technologie speelt een rol in vrijwel alle agro-food-eco(sub)systemen. Bijvoorbeeld in de akkerbouw met precisielandbouw, in slimme klimaatregeling in kassen en in het koppelen van gegevens over

82 JoinData n.d.

83 Wageningen University 2020.

voeding, gezondheid en bewegen voor veeteelt. Een ander voorbeeld (Box 2) betreft het koppelen van (fenotypische) meetgegevens van planten aan genetische kenmerken. Sensoren produceren grote hoeveelheden data die in *computers* en *databasesystemen* worden opgeslagen, waarna algoritmes die data vervolgens analyseren.

Een tweede groep complementaire technologieën wordt gevormd door verschillende typen *communicatietechnologieën*: WiFi, LoRa-netwerken voor communicatie tussen devices, bluetooth en NFC voor communicatie op de korte afstand en radar, GPS en LIDAR voor bijvoorbeeld positionering van autonome voertuigen in kassen zijn hier belangrijk.

Een derde groep complementaire technologieën betreft **database-managementsystemen**. Deze spelen een essentiële rol bij het structureren en toegankelijk maken van de data. Een voorwaarde voor het functioneren van DBmonMS-systemen is natuurlijk de beschikbaarheid van data. Ook op dat gebied moeten nog stappen gezet worden, niet alleen in de akkerbouw en de veeteelt maar in de gehele keten tot aan de menselijke voeding toe. Het delen van data tussen partijen in de verschillende ketens vormt een belangrijk knelpunt. Bij het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit is een digitaliseringsvisie in ontwikkeling, waarin de focus sterk ligt op het datadelen en het creëren van een datadeelinfrastructuur. Eigendom van en toegang tot data zijn belangrijke zaken die daarin moeten worden geregeld.

Ondersteunende infrastructuren

De eerste belangrijke infrastructuur ten behoeve van AI heeft te maken met connectiviteit. Glasvezelnetwerken, maar vooral ook mobiele datanetwerken zijn hierbij van groot belang – vooral 5G speelt een hoofdrol bij slimme mobiliteit. In de glastuinbouw is deze infrastructuur nodig om op afstand te kunnen monitoren. Nederland loopt wereldwijd voorop als het gaat om de dekking en de toegang tot hogesnelheidsinternetinfrastructuren, al is dit in een aantal perifeer gelegen landbouwgebieden nog wel een probleem.

Daarnaast zijn computergelateerde infrastructuren essentieel. Cloud- en edge-computing zijn essentieel om de kernalgoritmes te laten werken en daarvoor zijn datacenters weer essentieel. Nederland is hier relatief sterk in. Wel plaatsen we hierbij twee kanttekeningen. Ten eerste staan datacentra (zoals in de Wieringermeer) in toenemende mate ter discussie en ten tweede zijn het vooral Amerikaanse techbedrijven als AWS, Microsoft en Google die clouddiensten leveren. In reactie daarop is de EU bezig om, in de vorm van GAIA-X, een alternatief te ontwikkelen dat voldoet aan Europese standaarden voor toegang tot, eigendom en privacy van data.

Een derde complementaire infrastructuur is energie. Het gaat hierbij vooral om flexibele energiesystemen en slimme netwerken (smart grids) die bijvoorbeeld in samenhang met klimaatbeheersingssystemen in kassen op optimale tijdstippen energie kunnen gebruiken of leveren aan het elektriciteitsnet.

Conclusie: kritische elementen

De landbouw is aan het digitaliseren om verschillende uitdagingen het hoofd te kunnen bieden, zoals de leegloop in combinatie met hoge lonen, de zoektocht naar efficiëntie en duurzamere productie, het preciezer kunnen oogsten, en zelfs het leveren van compleet autonome systemen. Hierbij is AI voor de gehele sector relevant doordat zij het mogelijk maakt om zo efficiënt mogelijk middelen te gebruiken, fijnmazige adviezen te geven (per plant of dier) en autonoom te beslissen.

De meest kritische elementen in de relatie tussen AI en landbouw betreffen om te beginnen de ontwikkeling en toepassing van nieuwe sensoren en actuatoren voor autonome robots die bijvoorbeeld groenten zelfstandig kunnen onderhouden, plukken en sorteren. Daarvoor moeten ze getraind worden met data. In de melkveehouderij is het hoofdproces al geautomatiseerd, zij het in een gedefinieerde omgeving. Dat maakt robotica voor de akkerbouw – die in veel mindere mate gedefinieerd is – een grotere uitdaging. Een tweede element betreft de ontwikkeling en het eigendom van data in datadeelplatformen in de landbouw. Datadeelplatformen worden uitgebreid in de akkerbouw en de veeteelt om boeren meer eigenaarschap te geven. In de glastuinbouw zijn datadeelplatformen mogelijk minder relevant, aangezien hier sprake is van op zichzelf staande systemen. Om AI en datadelen te faciliteren over de landbouwgronden van Nederland zijn ten derde verbeteringen vereist in de ondersteunende infrastructuur (LoRa, 5G, clouddiensten, enzovoort). Hoewel Nederland wereldwijd voorop loopt met de dekking van en de toegang tot internet, zijn er landbouwgebieden waar dit nog niet het geval is. Voor de glastuinbouw is verbinding op afstand nodig om te kunnen monitoren. Ten vierde ligt er sectorbreed een uitdaging om de agrarische productie op een slimme manier te koppelen aan flexibele energiesystemen en -netwerken.

Box 2: Meerjarenprogramma Sleuteltechnologie Fenotype – Genotype – Prototype.

“Vernieuwende sensortechnologie en data analyse voor het fenotypering en genotyperen van planten – vanaf de hele plant tot en met het moleculair niveau – vormt de kernactiviteit van dit MJP. Als het gaat om het ontwikkelen van –omics technologieën voor toepassingen bij planten heeft NL mondiaal een prominent / leidende rol. Echter momenteel ontbreekt de koppeling met automatisch en op grote schaal gemeten fenotypische eigenschappen van de plant: dit wordt via dit MJP aangepakt. Nederland (NWO) heeft financiering beschikbaar gesteld voor de faciliteit Netherlands EcoPhenotyping Centre (NEPC) dat binnen een jaar klaar zal staan voor onderzoeksprojecten. Hiermee is het mogelijk om intacte planten door middel van digitale, non-destructieve fenotypering uitwendig en inwendig te meten en te analyseren. Complementaire biotechnologische technieken maken het dan mogelijk om op een digitale manier inzicht te krijgen van de samenstelling van de plant op het niveau van eiwitten (proteomics) en inhoudstoffen (metabolomics). Witte Biotechnologie zal hier ingezet kunnen worden om reststromen te valoriseren en dus te verkleinen, en ook om planten-biomassa, via fermentatie, om te zetten in waardevolle inhoudstoffen. Om de kennis van fenotype en genotype aan elkaar te kunnen koppelen zijn vernieuwende smart dataverwerkingsprocedures met behulp van kunstmatige intelligentie en statistisch verwerking noodzakelijk. Hiermee genereren wij voor de veredelaar een onmisbare tool voor ‘precision breeding’ en ‘precision agriculture’.”⁸⁴

5.5 AI-ecosysteem van de sector Industrie

In de industrie wordt wel gesproken over de vierde industriële revolutie, *Industry 4.0*: de digitalisering die nieuwe producten en diensten realiseert op basis van nieuwe technologieën zoals AI. Naast economische voordelen, zoals extra productiviteit, kan een slimmere industrie er ook voor zorgen dat we dichterbij maatschappelijke doelen komen zoals minder verbruik van grondstoffen en energie. Slimme toepassingen van AI maken dit mogelijk. Deze casestudie baseren we op een aantal grote trends: AI voor voorspellend onderhoud (predictive maintenance), autonome robots (bijvoorbeeld voor assemblage of voor toepassing in de landbouwsector – zie Box 3), geïntegreerde productieprocessen met automatische foutdetectie door AI, samenwerking in digitale ketens, en 3D-printen.

Elementen in het technologische ecosysteem

Kerntechnologieën

Wanneer de data beschikbaar zijn, dan zit de uitdaging in de kerntechnologieën. In veel toepassingen is er sprake van ‘narrow AI’, dus AI met de intelligentie om een zeer specifieke taak uit te voeren zoals het oppakken van omgevallen flesjes op een productieband.⁸⁵ Het kost echter veel werk om zo’n AI-systeem te leren wat bijvoorbeeld een foute en wat een goede assemblage is, en een kleine contextuele aanpassing waar niet op getraind is (zoals een onbekend obstakel of andere oriëntatie van een product), kan ervoor zorgen dat het AI-model opnieuw moet worden getraind. De beschikking over methodes om AI-systemen en robots eenvoudig te trainen en de toegang tot relevante bibliotheken voor data en algoritmes zijn daarom belangrijke assets in de digitalisering van de industrie.

Complementaire technologie

De industrie zit nu in de eerste fase van AI-toepassingen. De AI kan niet tot stand komen zonder de combinatie met complementaire assets. In de industrie vormen de robots die automatisch assembleren en de fouten eruit pikken, een steeds belangrijkere asset. Op dit moment vraagt de interactie tussen de slimme toepassingen in de industrie en de mens op de werkvloer nog om complementaire technologie om de interactie vorm te geven, zoals augmented en virtual reality en slimme handleidingen (operator support systems) die werkers in staat stellen om complexe taken foutloos uit te voeren.⁸⁶

In digitale fabrieken zullen steeds minder mensen werken. Deze fabrieken worden aangestuurd vanuit de controlekamer en op basis van een digitale kopie van de fabriek of een apparaat (digital twin). Bij digital twinning kan het gaan om een digitale versie van een apparaat waardoor het mogelijk is om prestaties en slijtage voortdurend te monitoren. Een digital twin kan ook een productieproces of een hele fabriek omvatten waarmee productieprocessen logistiek geoptimaliseerd kunnen worden. Digital twins leveren essentiële informatie voor AI-algoritmes zodat steeds meer beslissingen realtime en autonoom genomen kunnen worden.

Databases en standaarden, ondersteunende infrastructuur

Op dit moment is de belangrijkste stap om AI-toepassingen te realiseren het beschikbaar maken van data. Veel fabrieken beschikken al over de sensoren en meet- en regeltechniek die hiervoor nodig zijn. Ook zijn al veel data beschikbaar. De uitdaging zit in de ondersteunende infrastructuur om die data goed te kunnen ontsluiten, namelijk de dataplatforms en standaarden. Een risico dat hiermee gepaard gaat, is dat een industrie in *vendor lock-in* komt, doordat ze voor haar data-infrastructuur afhankelijk is van leveranciers zoals Siemens of Honeywell.

Ook hecht de industrie veel belang aan datastandaarden, waardoor industriële partijen data makkelijk kunnen delen. Op dit moment is het aanbod van dataplatforms voor de industrie versnipperd. Het is onduidelijk of er de komende jaren een 'winner takes it all'-mechanisme ontstaat, zoals heeft plaatsgevonden bij de platforms voor consumenten (bijvoorbeeld Facebook). Als er een winnaar naar voren komt, dan is de kans groot dat deze de speler met de meeste schaalvoordelen is. Als tegenwicht tegen niet-Europese dataplatforms ontstaan er daarom Europese initiatieven. Het Duitse initiatief voor een International Data Space⁸⁷ is een voorbeeld van zo'n standaard die als doel heeft om de data-uitwisseling tussen providers en gebruikers te faciliteren.

De Open Platform Communication Unified Architecture (OPC-UA) is daarnaast een internationale platformafhankelijke standaard (IEC62541), ontwikkeld door de OPC Foundation, voor de datacommunicatie met fabrieksapparatuur en IoT-apparatuur waarmee de data voor AI-toepassingen kan worden verzameld. Al veertig jaar is er een wildgroei aan zogenoemde vendorspecifieke veldbussen⁸⁸, als belangrijke assets in de digitalisering van de industrie. Echter, de op XML (extended meta language) gebaseerde OPC-UA-standaard sluit goed aan op de Digitale Twin XML-datastandaarden en vormt zodoende de basis voor smart-industry-datacommunicatie.

Het draait daarnaast niet alleen om de digitale infrastructuur, maar ook om de complementaire technologie om deze data te beschermen (cybersecurity en privacy-preserving technologieën). Denk bijvoorbeeld aan bescherming tegen cyberaanvallen, om fabrieken niet stil te laten vallen, maar ook het afschermen van concurrentiegevoelige delen van de data, wanneer verschillende partijen die delen.

Box 3: De melkrobots van Lely worden slimmer

“Lely is een industrieel bedrijf dat vooral levert aan de landbouwsector. Het startte midden jaren '80 met de ontwikkeling van de melkrobot voor de agrarische sector. Destijds was er nog geen concrete vraag vanuit de markt, maar waren het de technisch georiënteerde kenners vanuit de melkveehouderij die onderkenden dat er technologie beschikbaar kwam die automatisch melken mogelijk zou moeten maken. Na een intensief ontwikkeltraject van 10 jaar, kwam de melkrobot op de markt. De sector moest hieraan wennen en gaan begrijpen dat door robotisering niet alleen fysieke arbeid vervangen wordt, maar ook het dierwelzijn en voedselveiligheid verbetert.

Al snel werd de melkrobot een onmisbaar systeem dat niet alleen automatisch melkt, maar ook voortdurend data verzamelt over de gezondheid van de koeien en over de kenmerken van de melk. Lely is nog continu bezig de melkrobot slimmer en intuïtiever te maken, om zo de bedrijfsvoering van het melkveebedrijf te ondersteunen en te optimaliseren. De hedendaagse technologieën zijn op den duur niet meer voldoende. Verdieping in kunstmatige intelligentie, zelflerende systemen en collaboratief lerende systemen is nodig om te kunnen blijven innoveren.

Met 25.000 verkochte melkrobots wereldwijd en ruim 15.000 autonome voertuigen voor de stal, heeft Lely een prominente plaats in de gevestigde orde verworven.

Lely erkent echter het risico op onverwacht moment door een nieuwkomer verrast te worden. Juist daarom is het van groot belang dat Nederland een sterk programma heeft om robotinnovatie te versnellen en de concurrentiepositie te kunnen behouden of zelfs te versterken.”⁸⁹

Conclusie: kritische elementen

Bezien vanuit Smart Industry zijn vier elementen kritisch in het technologische ecosysteem. Ten eerste gaat het om dataplatformen en de datastandaarden om de data te kunnen ontsluiten en tussen partijen te kunnen delen. Daarnaast zijn cybersecurity en privacy-preserving technologieën essentieel om data te beschermen tegen fraude en industriële spionage. Ten derde is digital twinning één van de belangrijkste complementaire technologieën om autonome fabrieken te realiseren. Tot slot zijn bibliotheken en nieuwe methodes om robots sneller te programmeren een belangrijke asset voor de Nederlandse industrie.

6. Conclusies

Een krachtige technologiepositie op het gebied van AI vergt meer dan alleen een inzet op AI. Vanuit een strategisch oogpunt kan gekeken worden naar het bredere technologische ecosysteem en de ‘kritische’ innovatie-assets daarbinnen. In dit working paper hebben we een onderscheid gemaakt tussen vijf belangrijke typen technologische assets: de kernassets, de complementaire assets, de ondersteunende infrastructuur, data en de standaarden. Ook hebben we in vijf sectoren een blik geworpen op de vraag naar deze assets. Op basis hiervan kunnen we een aantal conclusies trekken ten aanzien van het technologische ecosysteem.

Datadelen belangrijkste bottleneck

Op dit moment is het ontsluiten en delen van data de eerste belangrijkste bottleneck. Het opzetten van een datadeelinfrastructuur is daarom een voorwaarde voor een sterk technologisch ecosysteem van AI. Dataplatforms en datastandaarden zijn de belangrijkste elementen om op korte termijn AI-implementaties te kunnen stimuleren. Data-uitwisseling is bij elke sector een uitdaging, maar elke sector kent ook weer sectorspecifieke uitdagingen. In de industrie is dat *vendor lock-in*. In de zorg is de uitwisseling van privacygevoelige data tussen publieke en private partijen een extra uitdaging. Privacy-preserving technologieën kunnen hier een oplossing bieden. Dit probleem speelt minder bij infrastructuurprojecten, omdat het beheer daarvan in handen is van publieke partijen.

Ontwikkeling van een AI-faciliterend sensornetwerk

Daarnaast verschilt de volwassenheid van het sensornetwerk per sector en daarmee de volwassenheid van het technologische ecosysteem. Daarom moet rekening worden gehouden met een verschil in snelheid in de opname van AI per sector, zelfs al is de datadeelinfrastructuur op orde. Bij de infrastructuur gaat het bijvoorbeeld over langetermijnprojecten en -contracten, zoals bij dijken en bruggen, waarvan de meetsystemen vaak verouderd zijn, waardoor het langer duurt om daarin nieuwe AI-toepassingen op te nemen. In de zorg komen er juist voortdurend nieuwe *wearables* (vooral commercieel) op de markt, waardoor het sensornetwerk snel verandert. Hier spelen wel weer andere belemmeringen (privacy, regulering, enzovoort) een rol.

Chips als kritische schakel

Op Europees niveau doet zich een chipstekort voor. Dit is een kritische schakel in het technologische ecosysteem. Een tekort aan computerchips kan een grote impact hebben op de brede ontwikkeling van AI doordat het rekenvermogen in AI-producten van groot belang is, maar ook via de ondersteunende infrastructuur zoals datacenters en netwerken voor IoT, wearables en overige elektronica.

De zorgsector kan zo geraakt worden door de grote vraag naar computerchips voor ingebedde systemen bij burgers en patiënten in bijvoorbeeld wearables voor gepersonaliseerde zorg, maar ook de mobiliteitssector kan geraakt worden door de grootschalige noodzaak van deze chips in intelligente voertuigen en infrastructuur. In de landbouw, industrie en infrastructuur kan de impact minder sterk zijn doordat deze sectoren een meer centraal karakter hebben, ten opzichte van de decentraliteit van de zorg en de mobiliteit. Het risico op een chipstekort kan worden verkleind door wederzijdse afhankelijkheden te creëren met de landen waarin de chipsproducenten actief zijn. Ditzelfde geldt voor de clouddiensten, waarbij Nederland voorloopt in het gebruik, maar daarbij wel afhankelijk is van het buitenland.

Omgaan met effecten van import van AI

Een vierde uitdaging zit in de levering van AI-diensten en -producten. De rol van Nederland bij de productie van AI-systemen verschilt per sector. In de mobiliteitssector is Nederland sterk afhankelijk van het buitenland: zelfrijdende auto's zullen worden geïmporteerd, inclusief de AI-producten en -diensten. Daarom is er regulering en software nodig om deze buitenlandse AI-producten en -diensten te testen in scenario's met voor Nederland representatieve data en om deze systemen aan te passen aan de Nederlandse publieke waarden. In de landbouwsector is Nederland juist een exporteur van AI-diensten en -producten voor bijvoorbeeld autonome kassen, dus daar is deze regulering minder van belang. Dit is weer anders in de zorg. Hier ontstaat het risico dat Nederland zelf beperkt onderzoek kan doen naar AI-producten, omdat onderzoekers beperkte toegang hebben tot Nederlandse data. Hierdoor neemt de afhankelijkheid toe van AI-producten die zijn getraind op data uit de VS, en vervolgens additionele middelen en tijd vereisen om in de Nederlandse context dezelfde effectiviteit te hebben.

Onzekerheid over afhankelijkheid techgiganten

Voor de AI-producten en -diensten die Nederland ontwikkelt, kan het bouwen op een sterke kennispositie op het gebied van AI. Wel blijft Nederland afhankelijk van AI-gerelateerde diensten en producten van techgiganten, zoals Amazon, Google en Microsoft voor clouddiensten, Lenovo voor HPC, en in de toekomst wellicht NVIDIA voor integrale AI-faciliteiten. De impact die deze afhankelijkheid heeft op het technologische ecosysteem van de verschillende sectoren, is moeilijk te overzien.⁹⁰ Het aanbod van dataplatforms voor de industrie is bijvoorbeeld nog erg versnipperd, maar de kans bestaat dat buitenlandse spelers hier de markt gaan domineren. Omdat schaalvoordelen een grote rol spelen bij het ontwikkelen van een dominante positie is samenwerking in

Europa en over sectoren heen een logische stap. In Europa ontstaan initiatieven om tegenwicht te bieden aan de grote techgiganten, zoals het AI4EU-platform voor AI-diensten-on-demand. Daarnaast vormt (Europese) regulering een middel om eisen te stellen aan het gebruik van AI-diensten (bijvoorbeeld het gebruik van AI-bibliotheken) in Nederlandse producten. Andere opties zijn om met regulering marktdominantie te voorkomen of om Europese dataplatforms, zoals de Industrial Data Space, verder uit te rollen.

Nieuwe AI-producten bouwen op complementaire technologie

Als zesde punt komen veel AI-producten en -diensten tot stand door AI te combineren met complementaire technologieën, zoals immersieve technologie en robotica. Het bedrijf Lely heeft bijvoorbeeld een leidende positie op het gebied van melkrobots. Om deze marktpositie te behouden moet het bedrijf continu investeren in innovaties, bijvoorbeeld door de robot slimmer te maken met de inzet van AI. Het belang van complementaire technologie is ook terug te zien bij bijvoorbeeld de autonome fabrieken, de autonome kassen en bij het onderhoud van infrastructuur. Hier speelt *digital twinning* een belangrijke rol bij het op afstand optimaliseren, beheren en onderhouden. Bij het monitoren en voorspellen is de combinatie van bestaande modellen met realtime data en AI van belang, en bij de uitvoering worden immersieve technologieën en robots ingezet. Nederland kan bouwen op sterke kennisposities op het gebied van de complementaire technologie.

Nederland als proeftuin

Tot slot komt er op de lange termijn steeds meer aandacht voor systemen die onderling communiceren. Denk hierbij aan zelfrijdende voertuigen die met elkaar contact moeten maken of aan precisielandbouw. Nederland presteert hoger dan het EU-27-gemiddelde op de complementaire technologieën Internet-of-Things, (cyber)security, connectiviteit, waaronder draadloos internet en blockchain, en deze technologieën dragen bij aan een sterke ondersteunende infrastructuur. Deze elementen in het technologische ecosysteem van AI zorgen ervoor dat Nederland een proeftuin kan zijn voor de opname van AI-producten en -diensten.

Verder onderzoek is nodig om op deze punten strategieën te ontwikkelen om het technologische ecosysteem van AI te behouden of te versterken, en zo een snelle opname van AI en AI-toepassingen in de private en publieke sectoren te realiseren.

Literatuur

- Arthur, W.B. (2009) *The nature of technology: What it is and how it evolves*, New York: Simon and Schuster.
- Arute, F., K. Arya, R. Babbush et al. (2019) *Quantum supremacy using a programmable superconducting processor*, *Nature* 574: 505-510. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>
- Bakker, S. & P. Korsten (2021). *Artificiële Intelligentie als een General Purpose Technology. Strategische belangen en verantwoorde inzet in historisch perspectief*. WRR Working paper nr.41, Den Haag: Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid.
- Banafa, A. (2019, 6 mei). *Blockchain and AI: A Perfect Match? [Blog post]*, Geraadpleegd op: <https://www.bbvaopenmind.com/en/technology/artificial-intelligence/blockchain-and-ai-a-perfect-match/>
- BBMRI-ERIC (n.d.). Making new Treatments Possible. Geraadpleegd op: <https://www.bbmri-eric.eu/>
- Brunsson, N., A. Rasche & D. Seidl (2012) *The Dynamics of Standardization: Three Perspectives on Standards in Organization Studies*. <https://doi.org/10.1177%2F0170840612450120>
- Cockburn, I.M., R. Henderson & S. Stern (2018) *The impact of artificial intelligence on innovation*, *Technical report*, Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- CBS (2019) *Internet; toegang, gebruik en faciliteiten; 2012-2019*. Geraadpleegd op <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83429NED/table?dl=2186D>.
- CBS (2020a) *Internet; toegang, gebruik en faciliteiten; 2012-2019*. Geraadpleegd op: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/83429NED>
- CBS (2020b) *ICT, kennis en economie 2020*, Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek.
- CBS (2021). *Geen bedrijfsopvolger voor meer dan 16 duizend boerderijen*. Geraadpleegd op: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/02/geen-bedrijfsopvolger-voor-meer-dan-16-duizend-boerderijen>
- Cisco (2020). *Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper*. Geraadpleegd op: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
- Cummings, J.J. & J.N. Bailenson (2016) *How Immersive Is Enough? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence*, *Media Psychology*, 19(2): 272-309. DOI: 10.1080/15213269.2015.1015740
- Digital Health Europe (n.d.). *Health Data Cooperative*. Geraadpleegd op: <https://digitalhealthurope.eu/glossary/health-data-cooperative/>

- Dosi, G. (1982) *Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change*, *Research policy*, 11(3): 147-162.
- EC (2018) *Artificial Intelligence for Europe*, COM (2018) 237, Brussels: European Commission.
- EC (2020, 19 oktober). *EU High-Performance Computing: one of the fastest AI supercomputers in the world launched in Italy* [Persbericht]. Geraadpleegd op: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-high-performance-computing-one-fastest-ai-supercomputers-world-launched-italy>
- EC (2021a) *EU invests further in European world-class supercomputing in Bulgaria*, persbericht 8 maart 2021. Geraadpleegd op <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-invests-further-european-world-class-supercomputing-bulgaria>.
- EC(2021b) *A European AI On Demand Platform and Ecosystem*. Geraadpleegd op: <https://cordis.europa.eu/project/id/825619>
- EC (2021c). *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence (artificial intelligence act) and amending certain union legislative acts*. Geraadpleegd op: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0206>
- EC (n.d.). *Advanced Technologies for Industry Dashboard*. Geraadpleegd op: <https://ati.ec.europa.eu/>
- Eurostat (2021a). *Digital economy and society statistics - households and individuals*. Geraadpleegd op: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Digital_economy_and_society_statistics_-_households_and_individuals#Internet_access
- Eurostat (2021b). *Electricity prices for non-household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*. Geraadpleegd op: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_205/default/table?lang=en
- Forbes (2019). *NVIDIA Dominates The Market For Cloud AI Accelerators More Than You Think*. Geraadpleegd op: <https://www.forbes.com/sites/paulteich/2019/06/17/nvidia-dominates-the-market-for-cloud-ai-accelerators-more-than-you-think/?sh=4407ac835edb>
- Forbes (2020). *Can AMD's Share In The GPU Market Rise 20%?*. Geraadpleegd op: <https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2020/03/16/can-amds-share-in-the-gpu-market-rise-20/?sh=3fa596242530>
- Garud, R., S. Jain & Arun Kumaraswamy (2017) *Institutional Entrepreneurship in the Sponsorship of Common Technological Standards: The Case of Sun Microsystems and Java*, *Academy of Management Journal*, 45(1): 196-214. <https://doi.org/10.5465/3069292>

- Gijsbers, G., B. Bakker, T. van Bree & A. Geurts (2019) *Strategische Innovatie Assets voor Nederland: Een hulpmiddel bij het analyseren van assets in het Nederlandse innovatiesysteem*, TNO report R11308, Den Haag: TNO.
- GoFair (n.d.). *FAIR Principles*. Geraadpleegd op: <https://www.go-fair.org/fair-principles/>
- Google (n.d.). *Vision AI*. Geraadpleegd op: <https://cloud.google.com/vision>
- Haafden, W. van, A. Sangers, T. van Engers & S. Djafari (2020) *Coping with the general data protection regulation; anonymization through multi-party computation technology*, 16_IRIS2020_paper_63.indd (dl4ld.nl).
- Heirman, J., S. Selleri, T. De Vleeschauwer, C. Hamesse, M. Bellemans, E. Schoofs & R. Haelterman () *Exploring the possibilities of Extended Reality in the world of firefighting*, in *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*. DOI: 10.1109/AIVR50618.2020.00055
- Himanan, L., A. Geurts, A. Stuart Foster & P. Rinke (2019) *Data-Driven Materials Science: Status, Challenges, and Perspectives*, *Advanced Science* 2019(6): 1900808.
- Holland HighTech (2019). *Fenotype – Genotype - Prototype*. Geraadpleegd op: https://www.hollandhightech.nl/sites/www.hollandhightech.nl/files/Documenten/KIAs/KIA%20ST/01%20MJP%20Pheno%20Geno_KIA2019_FINAL%2010%20april.pdf
- Holland Robotics (2018). *Kansen voor de Nederlandse robotica*. Geraadpleegd op: <https://www.hollandrobotics.com/nieuws/om-op-roboticagebied-mee-te-spelen-op-het-wereldtoneel-moet-nederland-nu-investeren/>
- Inria (2020, 16 december). *Who are the main players in the world of quantum computing?* Geraadpleegd op: <https://www.inria.fr/en/quantum-computing-main-players>
- Intel Capital (2020) *Demystifying the AI Infrastructure Stack*, Santa Clara, CA: Intel Capital. Geraadpleegd op: <https://www.intel.com/content/www/us/en/intel-capital/news/story.html?id=a0F1I00000BNTXPUA5>
- iSHARE (n.d.). *iSHARE makes it easier, safer and cheaper to provide access to your platform*. Geraadpleegd op: <https://www.ishareworks.org/en/isharewhats-it-you/ishare-platforms>
- JoinData (n.d.). *Wij beslissen graag zelf wie onze data inziet*. Geraadpleegd op: <https://join-data.nl/>
- Kahn, S. (2019) *Cloud Computing: Issues and risks of Embracing the Cloud in a Business Environment*, *International Journal of Education and Management Engineering* 9(4): 44-56. DOI:10.5815/ijeme.2019.04.05
- Kempen, D. van (2020, 5 april). *Big Data with SAP | SAP HANA 2.0 – An Introduction [Blog post]*. Geraadpleegd op: <https://blogs.sap.com/2020/04/05/big-data-with-sap-sap-hana-2.0-an-introduction/>

- Khan, W.Z., E. Ahmed, S. Hakak, I. Yaqoob & A. Ahmed (2019) *Edge computing: A survey*, Future Generation Computer Systems, Volume 97, August 2019: 219-235. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.050>.
- Konečný, J., H.B. McMahan, F. Yu, P. Richtárik, A.T. Suresh & D. Bacon (2016) *Federated Learning: Strategies for Improving Communication Efficiency*, ArXiv, abs/1610.05492.
- Li, W., & M. Liewig (2020) *A Survey of AI Accelerators for Edge Environment*, in Á. Rocha, H. Adeli, L. Reis, S. Costanzo, I. Orovic & F. Moreira (EDS) Trends and Innovations in Information Systems and Technologies. WorldCIST 2020, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1160. New York: Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45691-7_4
- Mohseni, M., P. Read, H. Neven, S. Boixo, V. Denchev, R., Babbush, A. Fowler, V. Smelyanskiy & J. Martinis (2017) *Commercialize quantum technologies in five years*, Nature, 543: 171-174.
- Musser, A. (2018). *Job One for Quantum Computers: Boost Artificial Intelligence*. Quanta Magazine. Geraadpleegd op: <https://www.quantamagazine.org/job-one-for-quantum-computers-boost-artificial-intelligence-20180129/>
- Netbeheer Nederland (2019) *Energienet in 2019 zeer betrouwbaar*, nieuwbericht d.d. 5 maart 2020. Geraadpleegd op <https://www.netbeheernederland.nl/nieuws/energienet-in-2019-zeer-betrouwbaar--1342>.
- Netbeheer Nederland (2021) *Energienet in 2020 meer dan 99,99 procent betrouwbaar*. Geraadpleegd op: <https://www.netbeheernederland.nl/nieuws/energienet-in-2020-meer-dan-99-99-procent-betrouwbaar-1437>
- NLAIC (n.d.). *Toepassingsgebieden: Landbouw en Voeding*. Geraadpleegd op: <https://nlaic.com/toepassingsgebied/landbouw-en-voeding/>
- NOS (2021). *Europa mengt zich in strijd om krachtige computerchips, maakt het kans?*. Geraadpleegd op: <https://nos.nl/artikel/2376170-europa-mengt-zich-in-strijd-om-krachtige-computerchips-maakt-het-kans>
- NPM (2014). *ADD*. Geraadpleegd op: <https://www.npmjs.com/package/add>
- oecd (2019). Open Government Data. Geraadpleegd op: <https://www.oecd.org/gov/digital-government/open-government-data.htm>
- OpenAI (2018, 16 mei). *AI and Compute [Blog post]*. Geraadpleegd op: <https://openai.com/blog/ai-and-compute/>
- OpenData Barometer (2016). *Country Details: Netherlands*. Geraadpleegd op: <https://www.oecd.org/gov/digital-government/open-government-data.htm>

- Otto, B., S. Auer, J. Cirullies, J. Jürjens, N. Menz, J. Schon & S. Wenzel (2016) *Industrial Data Space: Digital Sovereignty Over Data, whitepaper*, München: Fraunhofer-Gesellschaft. Geraadpleegd op: <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/fields-of-research/industrial-data-space/whitepaper-industrial-data-space-eng.pdf>
- Paraoanu, G.S. (2011) *Quantum Computing: Theoretical versus Practical Possibility*, Physics in Perspective volume 13, Article number: 359. Geraadpleegd op <https://link.springer.com/article/10.1007/s00016-011-0057-6>
- Paunov, C., S. Planes-Satorra & G. Ravelli (2019) *Review of national policy initiatives in support of digital and ai-driven innovation*, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 79, Paris: OECD Publishing. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/15491174-en>. 2
- Personal Health Train (n.d.). *The Personal Health Train Network*. Geraadpleegd op: <https://pht.health-ri.nl/>
- PRACE (z.j), *PRACE HPC Infrastructure*, Geraadpleegd op: <https://prace-ri.eu/infrastructure-support/prace-hpc-infrastructure/>
- Preskill, J. (2012) *Quantum computing and the entanglement frontier*, Rapporteur talk at the 25th Solvay Conference. Geraadpleegd op <https://arxiv.org/abs/1203.5813>
- Prorail (n.d.). *Datascience in het spoor*. Geraadpleegd op: <https://www.prorail.nl/evenementen/datascience-in-het-spoor>
- Raj, M. & R. Seamans (2019) *Primer on artificial intelligence and robotics*, *Journal of Organization Design*, 8(1): 11. DOI:10.1186/s41469-019-0050-0
- Rijksoverheid (2021, 9 april). *Extra impuls van 1,35 miljard euro voor innovatie vanuit Nationaal Groeifonds [Persbericht]*. Geraadpleegd op: <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2021/04/09/extra-impuls-voor-innovatie-vanuit-nationaal-groeifonds>
- SMITZH (2021). *Innoveren met Flexibele Manufacturing: Hoe Heineken Razendsnel Robots Inzet Aan Lopende Band*. Geraadpleegd op: <https://www.smitzh.nl/nieuws/innoveren-met-flexible-manufacturing/>
- Stolwijk, C.C.M., C. Montalvo, G. Gijsbers & L.M. Punter (2019) *Industrial B2B platforms: The race Europe cannot afford to lose*, TNO-rapport 2019 R10779, Den Haag: TNO. Geraadpleegd via <http://resolver.tudelft.nl/uuid:425cb6d9-57d3-4c81-8b3e-461d190f15b0>.
- SURF (z.j.). *Cartesius: de Nationale Supercomputer*. Geraadpleegd op: <https://www.surf.nl/cartesius-de-nationale-supercomputer>
- SURF (2021, 8 februari). *SURF Start met bouw nieuwe nationale supercomputer [Persbericht]*. Geraadpleegd op: <https://www.surf.nl/nieuws/surf-start-met-bouw-nieuwe-nationale-supercomputer>

- Synergy Research Group (2020). *Amazon & Microsoft Lead the Cloud Market in all Major European Countries*. <https://www.srgresearch.com/articles/amazon-microsoft-lead-cloud-market-all-major-european-countries>
- Taskforce Infrastructuur Klimaatakkoord Industrie (2020) *Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat*. Geraadpleegd op https://brandcentral.dnvgl.com/fr/gallery/10651/others/24cb85c3126e4c2b924cdf897930a9e0/24cb85c3126e4c2b924cdf897930a9e0_low.pdf
- Teece, D.J. (1986) 'Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy', *Research Policy* 15: 285-305.
- Teece, D.J. (2018) *Profiting from Innovation in the digital economy: Enabling technologies, standards, and licensing models in the wireless world*, *Research Policy* 47: 1367-1387.
- The Things Network (n.d.). *We are a global collaborative Internet of Things ecosystem that creates networks, devices and solutions using LoRaWAN®*. Geraadpleegd op: <https://www.thethingsnetwork.org/>
- TNO (n.d.). *Random Cycle Generator*. Geraadpleegd op: <https://www.tno.nl/en/focus-areas/traffic-transport/roadmaps/sustainable-traffic-and-transport/sustainable-mobility-and-logistics/improving-air-quality-by-monitoring-real-world-emissions/random-cycle-generator/>
- TNO (2019, 19 december). *Succesvolle Pilot met Operator Support Systeem bij Sociaal Werkbedrijf Senzer*. Geraadpleegd op: <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2019/12/succesvolle-pilot-met-operator-support-systeem-bij-sociaal-werkbedrijf-senzer/>
- TOP500 (2021). *TOP500 list - June 2021*. Geraadpleegd op: <https://www.top500.org/lists/top500/list/2021/06/>
- Viviano, F. (2017) *This tiny country feeds the world*, National Geographic, september 2017. Geraadpleegd op <https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/holland-agriculture-sustainable-farming>
- Wageningen University (n.d.). *Cijfers over de melkveehouderij*. Geraadpleegd op: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Economic-Research/Sectoren-feiten-cijfers/Melkveehouderij.htm>
- Wageningen University (2020). *Autonomous Greenhouse 2nd Edition*. Geraadpleegd op: <https://www.wur.nl/en/project/autonomous-greenhouses-2nd-edition.htm>
- Zonneveld, B. van (2017, 12 april). *Plantenveredeling met camera's. Technisch Weekblad*. Geraadpleegd op: <https://www.technischweekblad.nl/nieuws/plantenveredeling-met-camera-s>

Het technologisch ecosysteem van AI in Nederland



WRR

WETENSCHAPPELIJKE RAAD VOOR HET REGERINGSBELEID