

dialogic
innovatie • interactie

Het belang van digitale infrastructuur voor de Nederlandse digitale knooppuntrol

**ir. Menno Driesse, ir. ing. Reg Brennenraedts MBA,
Max Boiten MSc., Joost Crielaard BSc.**

Opdrachtgever:
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Publicatienummer:
2023.086.2343

Datum:
Utrecht, 15 december 2023

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting 3

1 Introductie 7

1.1 Aanleiding en doel 7
1.2 Oorsprong van de term digitale hub 8
1.3 Onderzoeksvragen 9
1.4 Onderzoeksaanpak 9
1.5 Overzicht van bronnen en methoden 10
1.6 Leeswijzer 10

2 Theoretisch kader 12

2.1 Introductie 12
2.2 Netwerkeffecten 12
2.3 Schaal- en scopevoordelen in productie 14
2.4 Agglomeratie-effecten 14
2.5 Clusters, waardeketens en ecosystemen 15
2.6 Conclusies en kaders voor deze verkenning 16

3 Stand van de DI in Nederland 17

3.1 Wat is de staat van de Nederlandse digitale infrastructuur? 17
3.2 Indeling van digitale infrastructuur 17
3.3 Stand van zaken per onderdeel van de DI 18
3.4 Nederlandse DI in internationaal perspectief 26
3.5 Conclusies 28

4 Interactiemechanismes binnen DI 29

4.1 Interactie-effecten: de confrontatiematrix 29
4.2 Interactie-effecten tussen de DI-onderdelen 30
4.3 Bredere observaties over de digitale hub 36
4.4 Conclusies 39

5 Hoe werkt de DI door in rest van de Nederlandse economie? 40

5.1 Digitale infrastructuur als randvoorwaarde voor andere sectoren 40
5.2 Schattingen waarde van digitale infrastructuur voor de Nederlandse economie 40
5.3 DI-vraag vanuit de andere economische sectoren 42
5.4 Exporteerbare waarde van DI 51
5.5 Conclusies 52

6 Conclusies 53

6.1 Definitie van de digitale hub 53
6.2 Theoretische mechanismes 53
6.3 Relatieve belang digitale infrastructuur 54
6.4 Bredere doorwerking van DI op de digitale economie 55

Verwijzingen 56

Bijlage 1. Overzicht interviewrespondenten 59

Bijlage 2. Interactiematrix DI-onderdelen 60

Bijlage 3. CBS-gegevens digitalisering sectoren 63

Bijlage 4. Overzicht O&I-ecosystemen 64

Managementsamenvatting

Doel en aanleiding van deze studie

Het doel van deze studie is om te doorgronden welke mechanismes er ten grondslag liggen aan de opkomst en bestendigding van de digitale knooppuntrol van Nederland. Hoewel er in de afgelopen jaren al veel aandacht is uitgegaan naar dit verschijnsel, ontbrak tot nu toe gestructureerde analyse van de onderliggende mechanismes achter de knooppuntrol of hub-functie van Nederland.

Theoretische mechanismes

Binnen deze studie gebruiken wij een drietal centrale economische principes die kunnen verklaren waarom bepaalde (bedrijfs)activiteiten groeien en op bepaalde locaties clusteren. We richten ons hierbij met name op de volgende principes:

- **Schaalvoordelen** – het vergroten van de productieschaal leidt tot hogere efficiëntie en lagere kosten per geproduceerde eenheid. Bij digitale diensten ontstaan daarnaast ook nog **netwerkeffecten**, waarbij de waarde van een netwerk (exponentieel) stijgt met het aantal afnemers/deelnemers (wet van Metcalfe). Binnen de DI zien we dit bijvoorbeeld sterk terug bij consolidatieslagen bij de grotere netwerkeigenaren: door de uniforme proposities en schaalbaarheid van bijvoorbeeld aanleg, beheer en marketing is het mogelijk om een steeds grotere groep klanten tegen grofweg dezelfde productiekosten te bedienen (afgezien van de investeringen in de infrastructuur zelf).

- **Scopevoordelen** – het combineren van verschillende activiteiten leidt ertoe dat de productiekosten voor beide activiteiten lager worden. Binnen de DI zien we dit met name terug in de triple en quadruple play proposities voor consumenten en de integratie van de dienstverlening bij zakelijke connectiviteitsaanbieders (combineren van diensten voor dark fiber, belicht, datacenters, internationale connectiviteit en aanpalende diensten).

- **Agglomeratievoordelen** – de aanwezigheid van anderen leidt ertoe dat de productiekosten lager worden door *lagere transportkosten* (DI: lage latency), *pooling van menselijk kapitaal* (DI: personeel voor beheer en onderhoud centraal in NL) en *kennis-spillovers* (DI: kleine sector met veel kennisroulatie tijdens vakbeurzen, onderling gebruik van infra, baanwisselingen, etc.).

Scope van de digitale hub

In onze analyse van het begrip digitale hub starten we met een **smalle benadering**, waarin we met name ingaan op het cluster en de waardeketens die in Nederland gezamenlijk de digitale infrastructuur ontwikkelen, beheren en exploiteren. Hiervoor maakten we een *quickscan* van de footprint (H3) en analyseerden we alle interacties tussen de verschillende DI-onderdelen aan de hand van schaal-, scope- en agglomeratievoordelen (H4).

Vervolgens kiezen we een **bredere benadering** van de digitale hub (H5), waarbij de digitale infrastructuurcluster een randvoorwaarde voor andere sectoren en ecosystemen vormt. In die gevallen worden de digitale infrastructuur en digitale toepassingen ingezet voor (maatschappelijke) waardecreatie. Het doel van deze verbreding is om in eerste instantie te laten zien op welke manier de DI waardevol is voor deze sectoren, maar nog sterker om te laten zien waar toekomstige groeikansen liggen voor Nederland.

Indeling en footprint van de DI

We delen de digitale infrastructuur op in **zes functionele componenten**: aansluitnetwerken (vast en draadloos), core-netwerken, internationale verbindingen (land en zee), datacenters, internetexchanges en *peering* en tot slot hosting en cloud. Per onderdeel geven we in onze quickscan een overzicht van de huidige staat en positie van Nederland. Ook geven we aan dat er onderscheid gemaakt kan worden tussen **generiek DI-aanbod** (zoals de glasvezel- en 5G-netwerken) en **specifiek DI-aanbod** (zoals dedicated draadloze netwerken in (lucht)havens).



Figuur 1. Indeling van de DI

Uit onze analyse van het bestaande DI-landschap blijkt dat Nederland al jaren erg goed scoort op alle onderdelen van de DI, wat ook blijkt uit hoge positie op de DESI-ranglijsten. Van aansluitnetwerken tot aan (cloud)dienstverlening, op alle vlakken scoren we goed tot internationaal toonaangevend. Een beknopt overzicht van de belangrijkste observaties wordt hieronder weergegeven in Tabel 1.

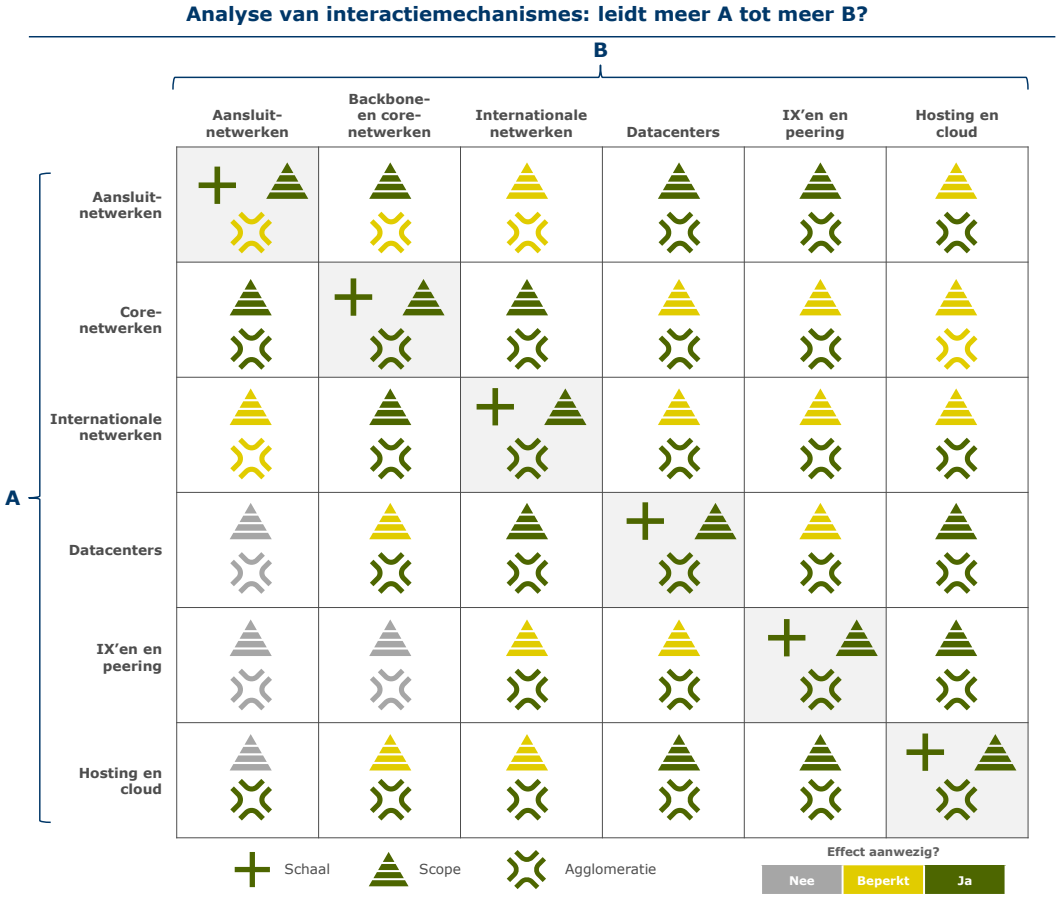
Tabel 1. Observaties per onderdeel van de DI

Onderdeel	Belangrijkste observaties
	• Vrijwel alle adressen beschikken over hoogwaardig vast aanbod. Consumenten en zakelijke afnemers zijn daardoor goed bereikbaar. Er is een kleine restgroep in het buitengebied (19k) en kleine bedrijventerrein waar dit niet zo is. • Aanbod/opwaardering naar 5G via 3,5 GHz heeft flinke vertraging opgelopen, oplossing en veiling nu wel echt in zicht.
	• Backbone- en core-netwerken door heel het land aanwezig met schaalbare netwerkapparatuur. Voor zowel vaste en mobiele aansluitnetwerken als individuele partijen is realisatie van nieuwe aansluiten op deze hoofdtracés eenvoudig en tegen lage kosten mogelijk.
	• Verschillende landroutes beschikbaar naar belangrijke andere hubs in Europa. • Veel zeekabels aanwezig, maar wel verouderd. Nieuwe investeringen op UK-tracé, maar NL geen onderdeel meer van Trans-Atlantisch systeem. PPS opgericht op nieuwe landingen aan te trekken en vergunningsproces te versimpelen.
	• MRA één van de grootste DC-hubs van Europa, hyperscalers in Groningen en Middenmeer. • Uitbreidingsmogelijkheden beperkt door energie- en ruimtelijke ordeningsvraagstukken, sector heeft 'de tijdsgeest tegen'.
	• AMS-IX belangrijke aanjager geweest van veel van de investeringen in datacenters, zeekabels en digitale diensten, groei in aantal aangesloten netwerken en (piek)verkeer nog altijd sterk. • Bestendiging directe peering en CDN's van en naar grote content- en cloudaanbieders.
	• Aanwezigheid van zowel grote internationale (public) cloud aanbieders als een variëteit aan (sectorspecifieke) private aanbieders, veel mogelijkheden voor hybrid cloud oplossingen • Goede uitgangssituatie voor edge computing, bestaande cloud- en datacenterinfra waarschijnlijk al voldoende.

Van deze observaties zijn wat ons betreft beperkte groei in datacenters en de uitgebleven vervanging voor aansluiting op Trans-Atlantische systemen aanwijsbare degeneraties, hoewel de echte (technische) impact is lastig om hard te maken. Het aanbod van zowel datacentervloer in Nederland en andere Europese landen is immers groot, evenals het aantal mogelijke routes via zee naar de belangrijke mondiale hubs.

Interactiemechanismes binnen de DI

Het blootleggen van de interactiemechanismes binnen en tussen de zes DI-onderdelen doen wij aan de hand van een **confrontatiematrix**. Per onderdeel van de DI bepalen wij of er sprake is van schaal, scope of agglomeratievoordelen. De uitwerking van al deze relaties is in de bijlage van het rapport opgenomen, de visuele samenvatting is hieronder weergegeven.



Figuur 2. Confrontatiematrix DI

Met onze gestructureerde analyse van de interactie-effecten hebben wij aangetoond dat er **binnen DI aanwijsbaar sprake is van schaal-, scope- en agglomeratie-voordelen**. Het beeld is dat de sterkste agglomeratie-effecten met name in de hogere lagen van het model optreden en dus maar beperkt in de aansluit- en core-netwerken. In die lagere lagen spelen wel duidelijke schaal- en scopevoordelen. Met de analyse hebben we goed kunnen aantonen wat de **interactiemechanismes** zijn die ervoor zorgen dat 'vliegwiel' achter de hoogwaardige Nederlandse DI-dienstverlening op gang is gekomen en nog steeds blijft draaien. Veel van de sterktes en afhankelijkheden zitten ook in **niet-technische argumenten**: de toegang tot kennis en ervaring, het gemak van zakendoen in Nederland, de digitale vaardigheden van de afnemers, et cetera.

Doorwerking van DI in de bredere economie

Voor de beantwoording van de laatste twee onderzoeksvragen zijn hebben we ons verdiept in de **bredere doorwerking van DI** in de bredere (digitale) economie. Het beantwoorden van deze onderzoeksvragen voor deze brede benadering van de digitale hub bleek uitdagend. In de beschikbare stukken en gesprekken kwamen we hier tot beperkte diepgang. Om toch inzicht te geven in de (relatieve) importantie van DI hebben we een **nauwere insteek** gekozen dan in de originele vraagstelling werd gesteld. We hebben het belang beschreven aan de hand van (1) het aandeel van DI in het BBP, (2) de vraag naar DI vanuit andere sectoren en (3) voorbeelden van de exporteerbare waarde van DI (op welke wijze draagt de DI bij aan het internationaal verdienvermogen van NL).

De **economische waarde** van DI wordt door veel verschillende onderzoeken als **(zeer) hoog** becijferd. De waarde komt enerzijds voort vanuit de toegevoegde waarde die binnen de sector zelf wordt gerealiseerd en anderzijds door de verhoging van de factorproductiviteit door het toepassen van DI in de bredere (digitale) economie.

Kijken we naar de vraag vanuit de verschillende sectoren, dan stellen we vast dat de digitale economie vanzelfsprekend erg afhankelijk is van de DI; **zonder connectiviteit geen digitale diensten**. Partijen herkennen dan ook de positie van Nederland als digitaal knooppunt of digitale hub. Ook hebben verschillende onderdelen van de DI een duidelijke exporteerbare waarde.

We kunnen op basis van ons onderzoek alleen geen eenduidige uitspraken doen over het relatieve belang ten opzichte van de andere ecosysteem-randvoorwaarden (oftewel: de relatieve omvang van de causaliteitsrelatie). In veel sectoren, ook de (traditioneel) digitaal intensievere, is digitale infrastructuur een **hygiënefactor** geworden, juist omdat het niveau van DI in Nederland bijzonder hoog is. Uitdagingen rondom het aantrekken van voldoende gekwalificeerd personeel (incl. 30%-regeling), het woningtekort, stikstofregulering en beperkingen in het elektriciteitsnetwerk werden door onze gesprekspartners gezien als grotere uitdagingen voor het toekomstig verdienvermogen.

Gesprekspartners wezen ons tot slot op **de kansen richting de toekomst**. Kunnen we een nieuw 'vliegwiel' ontdekken waar we als land weer een unieke positie op kunnen bemachtigen? Met de start van bijvoorbeeld het Future Networks & Services programma wordt hier een mooie eerste stap in gezet wat betreft de positie van Nederland op het gebied van 6G-technologie en -toepassingen.

1 Introductie

1.1 Aanleiding en doel

Dit onderzoek richt zich op de vraag wat het belang is van digitale infrastructuur (hierna: DI) voor Nederland als digitale hub en als digitaal knooppunt van Europa. Het belang van digitale infrastructuur voor de Nederlandse (digitale) economie wordt al geruime tijd door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat onderschreven. In de Strategie Digitale Economie van 2022 [1] wordt in pijler 4 uitgewerkt hoe we een veilige, betrouwbare en hoogwaardige digitale infrastructuur kunnen behouden en versterken.

> *De positie van Nederland als internationale **digitale hub** zorgt voor een sterke magneetfunctie voor nieuwe start-ups en meer gevestigde ondernemingen. […] De digitale infrastructuur […] vormt in veel opzichten de ruggengraat van onze digitaliserende maatschappij. Belangrijk daarbij is dat de digitale infrastructuur een noodzakelijke **enabler** is van de energietransitie, en meer algemeen van een duurzame en circulaire economie. […] Het vermogen van de Nederlandse digitale infrastructuur om in te spelen op en mee te groeien met de toekomstige maatschappelijke behoeften is noodzakelijk om de positie van Nederland als **digitaal knooppunt** te behouden en te versterken. […] Dit vergt veel van alle onderdelen van de digitale infrastructuur, waarbij steeds bewaakt moet worden dat er geen zwakke schakels ontstaan die het geheel afremmen.* [1]

De strategie bouwt voort op de ambitie van het (inmiddels demissionaire) kabinet om de knoppuntrol van Nederland te behouden en versteken. In het coalitieakkoord is hierover het volgende opgenomen:

> *De huidige digitale revolutie biedt geweldige kansen voor onze samenleving en economie. Die kansen gaan we benutten met uitstekende digitale vaardigheden, een sterke Europese digitale markt, **hoogstaande digitale infrastructuur** en ambitieuze samenwerking in technologische innovatie. Tegelijkertijd zorgt digitalisering voor een digitale kloof en groeiende ongelijkheid in onze samenleving. Ook onze veiligheid, rechtsstaat, democratie, mensen- en grondrechten en concurrentievermogen staan onder druk. Dat vraagt om solide spelregels, toezicht en strategische autonomie. […] Nederland wordt het **digitale knooppunt** van Europa en krijgt robuust, supersnel en veilig internet in alle delen van het land.* [2]

In de Strategie Digitale Economie benoemt EZK dat zij in 2023 de strategie verder inhoudelijk zal gaan uitwerken. Gezien het demissionaire status van het kabinet brengt EZK nu eerst een beleidsarm overzichtsdocument uit genaamd: **Staat van de Digitale Infrastructuur** [3]. Het doel van dit document en de acties er omheen is om te komen tot een overzicht van de voornaamste uitdagingen binnen de sector. Het nieuw te vormen kabinet kan deze inzichten gebruiken om goed onderbouwde beleidskeuzes te maken.

Dit onderzoek maakt onderdeel uit van een **drieluik** aan voorbereidende onderzoeken die EZK gebruikt om haar visiedocument op te stellen. Allereerst heeft TNO een conceptueel model ontwikkeld waarin de definitie van digitale infrastructuur uiteen wordt gezet en de technische samenhang wordt uitgelegd [4]. Ecorys is gevraagd om een economische impactstudie te doen waarin de economische en maatschappelijke kosten en baten inzichtelijk gemaakt worden. Aan ons is gevraagd welke mechanismes zorgen voor de hubfunctie.

Gezamenlijk moeten deze studies inzicht geven waar de voornaamste knelpunten zitten en dus beleidsaandacht naar uit zou moeten gaan. Daarbij helpen deze onderzoeken ook om

betere onderbouwing te geven van de positie en bijdrage van DI binnen bredere maatschappelijke vraagstukken, zoals ruimtegebruik, de energietransitie en (digitale) autonomie. De beleidskeuzes en eventuele prioritering liggen uiteindelijk bij het nieuwe kabinet.

1.2 Oorsprong van de term digitale hub

Het gebruik van de termen digitale hub, digitaal knooppunt en digitale mainport kennen een (beleids)traditie van een kleine tien jaar. Terugblikkend op die periode, blijkt dat er vanaf de start niet direct eenduidigheid bestond over de definities en het belang ervan. Zo heeft Deloitte (in opdracht van en in samenwerking met de sector zelf) in drie rapporten inzicht gegeven in de **omvang en de economische** bijdrage van digitale infrastructuur, evenals de introductie van de term digitale mainport. [5, 6, 7] Deze rapporten geven een breed en gedetailleerd overzicht van de aanwezige spelers en omvang, activiteiten en (relatieve) prestaties in internationaal verband. Tegelijkertijd nam VNO-NCW het gedachtegoed van de digitale mainport niet mee in haar mainportadvies in 2016, wat op haar beurt weer zorgde voor kritiek vanuit de sector zelf. [8]

Ook binnen het politieke domein is de terminologie vanuit de sector de Tweede Kamer binnengekomen. Onder andere via de aangenomen motie Verhoeven [9] wordt opgeroepen om de digitale infrastructuur (AMS-IX, hosters en housing) te erkennen als derde mainport, met relevante belanghebbenden een economische visie te ontwikkelen om de positie van de digitale mainport te versterken en te investeren in de uitvoering van die visie.

Ook in de **Nederlandse Digitaliseringsstrategie** van 2018 [10] en de update van 2021 [11] is aandacht voor digitale infrastructuur, met aandacht voor de vaste en mobiele aansluitnetwerken, evenals datacenters en zeekabels.

Vooruitspoelend naar 2022 is EZK, zoals hierboven gezegd, in haar Strategie Digitale Economie zelf ook duidelijk over haar begrip van het belang van de knooppuntrol van Nederland. Desondanks lijkt er nog steeds geen breed gedeeld (of in ieder geval gestructureerd opgeschreven) definitie van digitale hub en uitleg over de onderliggende mechanismes te bestaan.

In de beschikbare rapporten wordt met name ingegaan op de **omvang** (X vierkante meter vloer, Y aantal verbindingen), **prestaties** (plek drie of vier op index A, eerste plek op ranglijst B) of het **economisch belang** (in miljard Euro of kansen voor economische en/of maatschappelijke opgaven.

Vaak is de aanname of stellingname dat de digitale infrastructuur een belangrijke vestigingsplaatsfactor is en nieuwe bedrijven aan kan trekken, maar die assumptie is niet getest dan wel goed onderbouwd. Want is digitale infrastructuur nu echt een pullfactor voor bedrijven om zich hier te vestigen? Hoe verhoudt het zich tot andere vestigingsplaatsfactoren, zoals human capital en geldende wet- en regelgeving? Zijn sommige onderdelen belangrijker dan andere? Moeten alle onderdelen excellent of goed zijn of is er ook een minimale vereiste? Aan deze vragen beogen we met deze verkenning een waardevolle bijdrage te leveren.

1.3 Onderzoeksvragen

In samenspraak met opdrachtgever hebben wij een viertal onderzoeksvragen centraal gesteld binnen dit onderzoek:

1. **Wat is een digitale hub?**
2. Welke **theoretische mechanismen**, zoals spillover- of netwerkeffecten, spelen een rol in de relatie tussen de kwaliteit van DI en de digitale hub die daarop is ontwikkeld?
3. Wat is **de relatieve importantie** van de verschillende onderdelen van DI? Met andere woorden, hebben specifieke onderdelen van de DI elementen een relatief grotere invloed op de ontwikkeling van een digitale hub?
4. Wat zijn de **belangrijkste voorwaarden** voor het ontwikkelen van een succesvolle digitale hub? En specifiek, hoe belangrijk is DI als voorwaarde ten opzichte van andere voorwaarden voor een succesvolle digitale hub?
5. In welke mate bestaat er een **relatie** tussen het kwaliteitspeil van DI en de omvang en ontwikkeling van de digitale hub die daarop is ontwikkeld, in Nederland en in vergelijkbare landen?

Een relevante observatie hierbij is dat de eerste onderzoeksvraag initieel geen onderdeel uitmaakte van de opdracht. In de eerste fase van het onderzoek werd echter al snel duidelijk dat op het punt van definities juist nog veel onduidelijkheid bestond. Het definiëren van de hub is daarmee een belangrijke uitkomst van het traject geworden.

1.4 Onderzoeksaanpak

Het opstellen en interpreteren van de onderzoeksvragen vormde een belangrijke basis voor het onderzoek: wat is immers een digitale hub, waar begint en eindigt deze? Al snel constateerden we in gezamenlijkheid dat een bepaalde mate van overlap in de vragen zit. Door de hub te definiëren bepalen we deels de bewegingsruimte qua voorwaarden en de omvang van het belang van de digitale infrastructuur. Kiezen we voor een definitie van digitale hub die te dicht bij de digitale infrastructuur zit, bijvoorbeeld enkel de infra met enkele ondersteunende diensten, dan komen we snel in cirkelredenaties (want de hub en infra zijn 'oneindig' afhankelijk van elkaar). Kiezen we de definitie te breed, dan bestrijkt het alle economische activiteiten en slagen we waarschijnlijk maar beperkt in het verklaren van de samenhang en versterkende effecten.

Om, gegeven deze uitdagingen, tot de gevraagde inzichten te komen hebben we een duidelijke **tweedeling** in de analyse aangebracht. We starten met een analyse van het begrip digitale hub: welke economische **mechanismes** zouden eraan ten grondslag kunnen liggen, hoe sterk en aanwezig zijn de verschillende componenten van de DI en welke zelf- en onderling versterkende effecten zien we terug? Vervolgens zoeken we de **verbreding** op en beschrijven we de wijze waarop de DI doorwerkt in de bredere context en economie. De vraag om internationale vergelijking beantwoorden we door de tekst heen, bijvoorbeeld door concrete voorbeeld aan te halen of de Nederlandse cijfers te vergelijken met een aantal referentielanden of -regio's.

We zullen met onze aanpak dus inzoomen op de **aard** van de specifieke DI-componenten en interactie-effecten, om vervolgens uitspraken te kunnen doen over de **samenhang** en de **doorwerking** op het beleid. Tegelijkertijd zit naar verwachting de meeste complexiteit

vooral in de samenhang, dus de conclusie kan ook zijn dat we niet kunnen verklaren hoe de samenhang werkt.

1.5 Overzicht van bronnen en methoden

We berusten ons in dit onderzoek op een combinatie van kwalitatieve en kwantitatieve methoden en bronnen.

Allereerst hebben de **discussies met EZK** over het doel van deze verkenning en hun interpretatie van het concept Digitale Hub een belangrijk fundament gelegd voor het ontwikkelde gedachtegoed.

Ook bouwen we voort op analysekaders en uitkomsten van eigen **eerdere verkenningen** op dit thema, zoals het onderzoek naar de toekomst van digitale infrastructuur uit 2016, de verkenning naar de digitale randvoorwaarden van de toplocaties uit de Ruimtelijk Economische Ontwikkelstrategie, onze analyse van het Nederlandse onderzoeks- en innovatie-ecosysteem rondom 5G/6G, een verkenning naar de regionale waarde van datacenters in Flevoland en de mapping van vaste aansluitnetwerken die wij al vijf jaar voor EZK uitvoeren.

De **deskstudie** berust op een bredere selectie van wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke publicaties over de (elementen van) DI, zoals trendrapportages, papers, infographics, manifesten, dashboards, dekkingskaarten, indexen, etc. De sector kenmerkt zich door veel publicaties naar buiten te brengen waarin de omvang en het belang wordt uitgelegd. Deze publicaties bevatten doorgaans erg actuele data, bijvoorbeeld over het gebruik en de bezettingsgraad. Tegelijkertijd bemerken we vaak een hoge mate van zelfreferentie en beperkte externe valideerbaarheid.

Tot slot hebben we een **interviewronde** gehouden met de relevante brancheverenigingen en telecomaanbieders, om zo per onderdeel van de DI hun eigen perceptie te verzamelen. Deze gesprekken hebben ons geholpen om de door de deskstudie ontwikkelde aannames te verifiëren en te zoeken naar verdere onderbouwing aan de hand van concrete voorbeelden of verwijzing naar additionele bronnen.

1.6 Leeswijzer

De rapportage is als volgt opgebouwd:

- **Hoofdstuk 2 – Analysekader** – de theoretische start van de verkenning waarin wij begrippen definiëren en inzicht geven in de mechanismes die wij vanuit met name de economische en innovatie-literatuur hebben geïnventariseerd.

- **Hoofdstuk 3** - **Stand van de DI in Nederland –** hoewel het geen directe onderzoeksvraag betrof, hebben wij toch beknopt overzicht van de huidige staat van de digitale infrastructuur in Nederland opgesteld, om zo kunnen staven of de uitspraken over de 'uitstekende kwaliteit' ook blijkt uit de daadwerkelijke cijfers en prestaties.

- **Hoofdstuk 4 – interactie-mechanismes binnen de DI** – de kern van het onderzoek waarin wij ingaan op de zelfversterkende en interactie-effecten. We starten hierbij met de individuele componenten om ze daarna ook in samenhang te bezien.

- **Hoofdstuk 5 – Doorwerking van de DI** – in dit hoofdstuk beschouwen we de waarde en doorwerking van de DI in haar bredere context.

- **Hoofdstuk 6 – Conclusies** – de integratie van de inzichten uit voorgaande hoofdstukken en een reflectie op de mate waarin wij de onderzoeksvragen hebben kunnen beantwoorden.

In de bijlagen verwijzingen, een overzicht van de gesprekspartners, de uitgewerkte interactiematrix, de hanteerde CBS-data en een overzicht van de onderzoeks- en innovatie-ecosystemen opgenomen.

2 Theoretisch kader

Kernpunten van dit hoofdstuk

Het doel van deze studie is om te doorgronden welke mechanismes er ten grondslag liggen aan de opkomst en bestendiging van de digitale knooppuntrol van Nederland. Binnen deze studie gebruiken wij een drietal economische principes die kunnen verklaren waarom bepaalde (bedrijfs)activiteiten groeien en op bepaalde locaties clusteren. Het betreft:



Schaalvoordelen – het vergroten van de productieschaal leidt tot hogere efficiëntie en lagere kosten per geproduceerde eenheid. Bij digitale diensten ontstaan daarnaast ook nog **netwerkeffecten**: de waarde van een netwerk stijgt (exponentieel) mee met het aantal afnemers/deelnemers.



Scopevoordelen – het combineren van verschillende activiteiten leidt ertoe dat de productiekosten voor beide activiteiten lager worden.



Agglomeratievoordelen – de aanwezigheid van anderen leidt ertoe dat de productiekosten lager worden door lagere transportkosten, pooling van menselijk kapitaal en kennis-spillovers.

In onze analyse van het begrip digitale hub starten we met een **smalle benadering**, waarin we met name ingaan op het cluster en de waardeketens die in Nederland gezamenlijk de digitale infrastructuur ontwikkelen, beheren en exploiteren. Hiervoor maken we een *quickscan* van de footprint (H3) en analyseren we vervolgens alle interacties tussen de verschillende DI-onderdelen aan de hand van schaal, scope en agglomeratie (H4). Vervolgens kiezen we **bredere benadering** van de digitale hub, waarbij de digitale infrastructuurcluster een randvoorwaarde voor andere sectoren en ecosystemen vormt. In die gevallen worden de digitale infrastructuur en digitale toepassingen worden ingezet voor (maatschappelijke) waardecreatie. Het doel van deze verbreding is om in eerste instantie te laten zien op welke manier de DI waardevol is voor deze sectoren, maar nog sterker om te laten zien waar toekomstige groeikansen liggen voor Nederland.

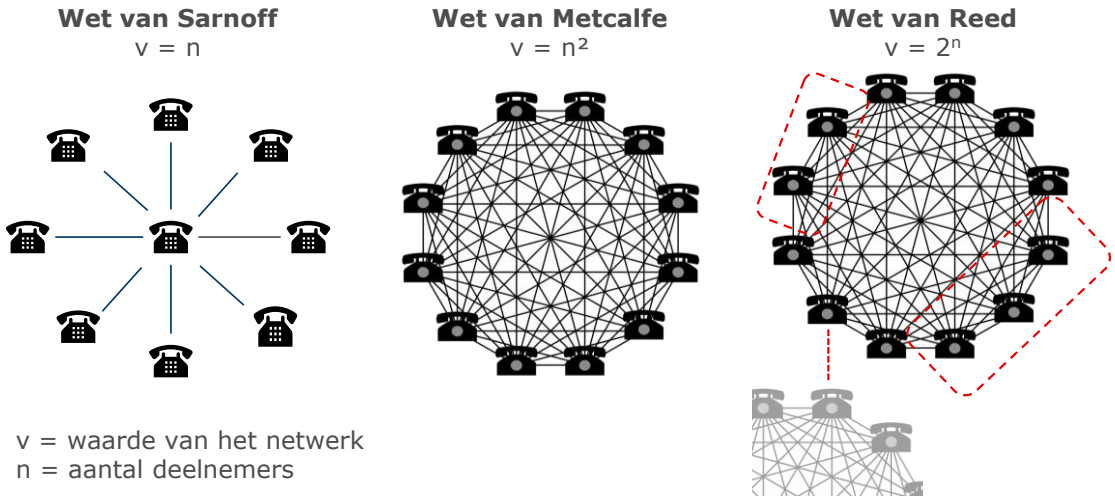
2.1 Introductie

Dit hoofdstuk geeft een introductie in de voornamelijk economische begrippen die wij in onze analyses inzetten. Wanneer een industrie en haar bedrijven groter worden en intensiever gaan samenwerken kunnen er zowel binnen de organisaties zelf als tussen de organisaties onderling verschillende (schaal)voordelen ontstaan waardoor de productiekosten dalen en de innovatiekracht toeneemt. In dit hoofdstuk behandelen wij een aantal van de theoretische mechanismes die hieraan ten grondslag liggen. Het doel is niet om volledig te zijn, maar om met een *toolbox* aan mogelijke interactie-effecten de DI-sector te kunnen beschouwen.

2.2 Netwerkeffecten

Het succes van digitalisering en telecommunicatie laat zich goed verklaren door de zogenoemde netwerkeffecten. Deze theorie beschrijft de (toename van de) waarde van een netwerk aan de hand van het aantal verbindingen of deelnemers. De theorie is met een goede verklaring voor de waarde en kans op monopolisering van digitale platformen: zodra een platform (netwerk) in omvang begint te groeien wordt het waardevoller en daarmee ook lastiger voor alternatieve platformen om ermee te concurreren, ook als zij in puur technische of commerciële termen aantrekkelijker zouden zijn voor de gebruikers.

Er zijn verschillende 'scholen' die uitspraken doen over de waarde van het netwerk als gevolg van het aantal deelnemers en onderlinge verbindingen. De wet van Sarnoff beschrijft de waarde als in een lineair verband (v = n), Metcalfe spreekt van een kwadratische relatie[1] (v = n^2) en Reed stelt zelfs dat ze waarde van een netwerk exponentieel groeit bij elke nieuwe deelnemer (v = 2^n). Die exponentiële waardegroei zou mede komen doordat de onderlinge verwevenheid steeds sterker wordt en er binnen het netwerk weer nieuwe subgroepen kunnen ontstaan. Verder kan elke nieuwe toetreder in potentie ook weer toegang bieden tot andere netwerken of groepen gebruikers.



Figuur 3. Waarde van netwerken volgens de verschillende netwerktheorieën (bronnen toevoegen)

In werkelijkheid is niet elke partij (*node*) en elke verbinding (*edge*) in het netwerk even belangrijk. Naarmate een netwerk groeit en in stand blijft worden sommige *nodes* belangrijker doordat zij een centrale positie innemen en veel andere *nodes* aan zich koppelen (hoge *centrality*). Op het niveau van de *edges* is ook variatie mogelijk: ze kunnen gericht (*directed*) of ongericht (*undirected*) zijn en ze kunnen een bepaald gewicht hebben. In datatermen verwijst dit naar de voornaamste richting van het in- en uitgaande verkeer en de omvang van de verkeersstromen. Denk bijvoorbeeld aan de positie van een gemiddelde consument en die van een populaire influencer. De influencer heeft een hoge centraliteit in het netwerk en heeft vooral veel uitgaande stromen van informatie/verkeer. De consument heeft in verhouding een veel beperktere centraliteit en zal met name inkomende stromen van informatie/verkeer hebben.

Het denken in termen van netwerkeffecten helpt om de onderlinge relaties tussen partijen en de exponentiële waardegroei van met name digitale platformen beter te grijpen en onderbouwen. Ze verklaren de extreem snelle opkomst (TikTok, Snapchat) en teloorgang (Hyves, MySpace, etc.) van de verschillende platformen[2], evenals de verschillen qua adoptie per generatie (wie zit op welk platform).

Ook de rol en waarde van internet exchanges (IX'en) zal in latere hoofdstukken snel duidelijk worden aan de hand van netwerkeffecten.

---

[1] Preciezer is eigenlijk (n(n-1))/2, aangezien een node niet met zichzelf verbonden kan zijn.

[2] Zie bijvoorbeeld ook deze tijdlijn van opgekomen en verdwenen platformen: [www.broadbandsearch.net]

2.3 Schaal- en scopevoordelen in productie

Voordat we naar de onderlinge relaties tussen de verschillende (aanbieders van) digitale infrastructuur kijken, gaan we eerst in op de interne bedrijfsdynamieken rondom de reductie van productiekosten, namelijk schaal- en scopevoordelen. Bedrijven die activiteiten ontplooien rondom productie (maakbedrijven), distributie (transport) en consumptie (retail) zoeken altijd naar voordelen om hun winstmarge en concurrentiepositie te verbeteren.

Schaalvoordelen (*economies of scale*) verwijzen naar de kostenbesparingen die een organisatie kan realiseren wanneer het de productie opschroeft en groter wordt. Dit gebeurt omdat de vaste kosten, zoals machines en ingekochte diensten, over een groter aantal geproduceerde eenheden worden verdeeld. Hierdoor dalen de gemiddelde kosten per eenheid, wat leidt tot meer efficiëntie en competitieve prijzen. De hiervoor beschreven **netwerkeffecten** zorgen er vervolgens ook voor een sterke waardestijging van het netwerk of de aangeboden dienst zodra er meer afnemers zijn.

Hoewel dit voor de individuele partijen aantrekkelijk is, kunnen markten met grote schaalvoordelen ook tot een monopolie of oligopolie leiden, aangezien alleen grote partijen voordelig kunnen opereren en er dus toetredingsdempels ontstaan. Naast schaalvoordelen kunnen er ook schaalnadelen ontstaan: de toename in schaal leidt dan juist alleen maar tot hogere kosten, bijvoorbeeld doordat er meer noodzaak is voor afstemming en bureaucratie. Merk hierbij op dat de schaaleffecten ook op sectorniveau kunnen optreden, de zogenoemde externe of sectorschaalvoordelen, bijvoorbeeld omdat verschillende partijen een onderdeel vormen van dezelfde waardeketen (zoals bij digitale infrastructuur nadrukkelijk het geval zal zijn).

Scopevoordelen (*economies of scope)*, treden op wanneer een bedrijf verschillende producten of diensten combineert binnen dezelfde organisatie, wat leidt tot kostenbesparingen. Dit kan gebeuren doordat gedeelde middelen, zoals marketing, distributiekanalen of personeel, efficiënter worden benut voor meerdere producten. Economies of scope stellen bedrijven in staat om hun diversificatie te vergroten en tegelijkertijd kosten te minimaliseren, waardoor ze concurrerender kunnen zijn in verschillende markten.

Binnen het speelveld van digitale infrastructuur zijn allerlei voorbeelden van scopevoorbeelden aan te wijzen, waaronder de triple en quadrupel play proposities voor consumenten. In dit proposities zijn is de dienstverlening voor internet (access), telefonie (via vast en mobiel, voor data en spraak) en televisie (en ander contentaanbod) gecombineerd in één aanbod. Ook de integratie van netwerkeigenaar en dienstenleverancier is een geijkt businessmodel, hoewel er ook genoeg partijen actief zijn die alleen de rol van eigenaar of juist van dienstenaanbieder bekleden.

2.4 Agglomeratie-effecten

Aangezien we voor deze studie vooral willen beschrijven wat de sterktes en afhankelijkheden van de positie van Nederland als fysieke locatie binnen het domein van de digitale infrastructuur en diensten is, dienen we voornamelijk aandacht te hebben voor schaal-, scope- en netwerkeffecten die op kunnen treden als gevolg van de fysieke nabijheid van partijen en activiteiten. Binnen de economische en geografische literatuur worden deze voordelen aangeduid als agglomeratie-effecten.

Er zijn grofweg **drie** primaire drijfveren die de voordelen van fysieke aanwezigheid en nabijheid beschrijven:

- **Lage transportkosten**: doordat alle partijen uit de waardeketen dicht bij elkaar in de buurt zitten, gaan de onderlinge transportkosten omlaag. In het geval van digitale diensten zijn lage latency, lagere transitkosten en de mogelijkheid om eenvoudigere/goedkopere apparatuur te gebruiken veel gehoorde argumenten in dit kader.

- **Human capital pooling en matching**: de wisselwerking tussen vraag en aanbod van menselijk kapitaal verloopt beter binnen een cluster. Opkomende en groeiende sectoren kennen immers een grote dynamiek en in elke fase is de behoefte aan kennis en kunde anders. Bepaalde bedrijfsonderdelen en kennistypen lenen zich erg goed om binnen het cluster te poolen, bijvoorbeeld op het gebied specialistisch technisch onderhoud maar ook meer generieke zaken zoals HR en financiën. Ook voor het beheer en onderhoud is het efficiënt om de productie dicht bij elkaar te plaatsen; het leidt tot een lagere kosten en een betere *mean time to repair* als bijvoorbeeld een onderhoudspartij niet continu het hele land door moet rijden of op allerlei locaties onderhoudspersoneel op afroep beschikbaar hoeft te hebben. Tot slot kan het aanbod van onderwijsinstellingen zich beter vormen naar de lokale afzetmarkt, bijvoorbeeld omdat er via stages en overlegstructuren beter inzicht komt in de actuele behoeftes op de arbeidsmarkt.

- **Kennis spillovers**: het clusteren van partijen en activiteiten komt de kennisdeling *tussen* bedrijven erg ten goede. Dit zorgt ervoor dat het leervermogen van de aanwezige partijen omhoog gaat (creatie, diffusie en samenvoegen van nieuwe kennis). De oorzaken worden gezocht in de diffusie van kennis tussen individuen binnen dezelfde sector (kennisdiffusie volgens Marshall–Arrow–Romer [12]), als gevolg van de lokale onderlinge competitie (zie Porter over creatieve destructie [13]) of juist door leereffecten tussen partijen uit verschillende sectoren (Jacobs [14]). Deze kennisdeling herkennen we ook in de DI-sector, mede doordat het qua aantallen partijen een relatief kleine sector is met veel kennisroulatie binnen brancheorganisaties, tijdens vakbeurzen, door onderling gebruik van infra, consolidaties (en dus incorporeren van mensen en bedrijfsstrategie), baanwisselingen binnen de sector, et cetera.

Tot slot kan er nog sprake zijn van bepaalde **geografische voordelen** die bepaalde locaties *a priori* al aantrekkelijk maken voor bepaalde economische activiteiten. Een zeehaven ligt aan de kust en beschikt over goede vaarroutes (Rotterdam), zakelijke dienstverlening wil graag centraal en goed bereikbaar zijn (Zuidas en Utrecht) en agrarische activiteiten behoeven ruimte en een vruchtbare bodem (Flevoland). Voor allerlei vormen van infrastructuur (lucht, weg, water) heeft Nederland een lange traditie als toegangspoort en doorvoerhaven naar de rest van West-Europa. Deze geografische eigenschappen kunnen dus een trigger vormen voor bepaalde clusters om zich ergens te gaan ontkiemen.

2.5 Clusters, waardeketens en ecosystemen

De laatste relevante theoretische concepten die wij aan bod willen laten komen zijn die van clusters en ecosystemen. In tegenstelling tot digitale hub en digitale mainport kennen deze termen namelijk wel een duidelijke weerklank in economische literatuur. De concepten hebben elk hun eigen oorsprong en tradities, maar zijn er in ieder geval op gericht om het samenspel van partijen en hun onderlinge activiteiten gestructureerd in beeld te brengen. Dit is bijvoorbeeld mogelijk aan de hand van de positie van partijen in de **waardeketen** (toeleverancier, producent, afnemer, financier), maar ook in een bredere **ecosysteembenadering** waarbij ook de randvoorwaarden, inputs, activiteiten, outputs, outcomes en

impact worden beschreven. Dergelijke analyses stellen ons ertoe in staan om niet allen de werking maar ook de beperkingen bloot te leggen, bijvoorbeeld ten behoeve van individuele of overkoepelende strategie- of beleidsvorming.

Afhankelijk van het doel van de analyse kunnen de verschillende benaderingen elk hun waarde tonen. Ligt de nadruk bijvoorbeeld op het vaststellen van eventuele markt, systeem- of transitiefalen, dan ligt de ecosysteembenadering voor de hand. Wil een individuele partij echter haar bedrijfs- of organisatiestrategie in de relatie tot de andere partijen uit een sector analyseren, dan geeft de cluster- of waardeketenbenadering waarschijnlijk al de gewenste inzichten.

Zo zijn de volledige **waardeketens** rondom scheepsbouw en de glastuinbouwsector in Nederland aanwezig: toeleveranciers (toegang tot grondstoffen en technologie), productiebedrijven (de kassen en scheepswerven), energie (voorheen: goedkoop gas), onderhoudsbedrijven, logistieke bedrijven, branchevertegenwoordiging, ontsluiting via spoort, lucht, water en weg, et cetera. Kijken we naar de automotive en halfgeleiders, dan stellen we vast dat de Nederlandse partijen juist onderdeel zijn van internationale waardeketens. Zo leveren Nederlandse maakbedrijven aan de Duitse automotive-bedrijven en heeft de halfgeleiderindustrie (met ASML als drijven kracht) zowel een sterke lokale toeleveringsketen als enkele cruciale leveranciers in het buitenland (Carl Zeiss in Duitsland). Binnen de digitale infrastructuur verwachten we ook een vergelijkbaar sterke internationale verwevenheid tussen de infrastructuurcomponenten en betrokken partijen.

2.6 Conclusies en kaders voor deze verkenning

In dit hoofdstuk hebben we een aantal belangrijke economische mechanismes achter het opschalen, combineren en geografisch clusteren van bedrijfseconomische activiteiten geïntroduceerd. Hoewel de beknopte beschrijvingen slechts beperkt eer doen aan de lange wetenschappelijke traditie die sommige van de concepten inmiddels heeft, menen vooral een aantal bruikbare concepten in beeld te helpen die ons helpen bij de verdere analyse van de digitale hub. Voor het resterende deel van deze studie maken onderscheid tussen twee benaderingen:

- We starten met een **smalle benadering** van de digitale hub, waarin we met name ingaan op het cluster en de waardeketens die in Nederland gezamenlijk de digitale infrastructuur ontwikkelen, beheren en exploiteren. Een footprint van deze sector beschrijven we in hoofdstuk 3. Binnen deze hub willen we meer grip op interactie tussen de spelers en elementen de DI zelf. Met deze **bottom-up aanpak** zullen we in hoofdstuk 4 gebruikmaken van de hiervoor beschreven netwerkeffecten en de **schaal-, scope en agglomeratievoordelen**. De netwerkeffecten behandelen we niet voor elke interactie, omdat dit vooral een bijzondere vorm van schaalvoordeel is. Op deze wijze kunnen we beter uitleggen in hoeverre de aanwezigheid van de andere spelers binnen de digitale hub een versterkend effect heeft bovenop de algemeen geldende Nederlandse vestigingsplaatsvoordelen.

- Vervolgens kiezen we **bredere benadering** van de digitale hub, waarbij de digitale infrastructuurcluster een **randvoorwaarde voor andere sectoren en ecosystemen** vormt. In die gevallen worden de digitale infrastructuur en digitale toepassingen ingezet voor (maatschappelijke) waardecreatie. Het doel van deze verbreding is om in eerste instantie te laten zien op welke manier de DI waardevol is voor deze sectoren, maar nog sterker om te laten zien waar toekomstige groeikansen liggen voor Nederland. Ook gaan we in op de andere randvoorwaarden die nodig zijn om tot een internationaal concurrerend cluster te komen.

3 Stand van de DI in Nederland

Kernpunten van dit hoofdstuk

We delen de digitale infrastructuur op in **zes functionele componenten**: aansluitnetwerken (vast en draadloos), backbone- en core-netwerken, internationale verbindingen (land en zee), datacenters, internetexchanges en *peering* en tot slot hosting en cloud. Per onderdeel geven we in onze quickscan een overzicht van de huidige staat en positie van Nederland. Ook geven we aan dat er onderscheid gemaakt kan worden tussen **generiek DI-aanbod** (zoals de glasvezel- en 5G-netwerken) en **specifiek DI-aanbod** (zoals dedicated draadloze netwerken in (lucht)havens).

Van alle DI-componenten stellen we vast dat ze van **uitstekende kwaliteit** zijn in termen van dekkingsgraad, routes en aanwezigheid van veel aanbieders. We scoren in internationaal perspectief al jaren in de top drie van Europa en staan bekend om onze hoge adoptiegraad van digitale technologieën zoals cloud-toepassingen. **Aandachtspunten** liggen in het behouden van onze autonomie (o.a. qua zeeroutes), de beschikbaarheid van voldoende stroom en ruimte (met name datacenters) en met name de toegang tot voldoende (technisch) talent om ook de groei in de toekomst te kunnen doorzetten.

3.1 Wat is de staat van de Nederlandse digitale infrastructuur?

Nederland staat internationaal bekend om haar uitstekende digitale infrastructuur, maar hoe meetbaar kunnen we dit maken? Dat werken wij in dit hoofdstuk (beknopt) uit aan de hand van internationale indicatoren, dekkingscijfers en trendbeschrijvingen. Deze beschrijving van de *footprint* van de DI helpt ons om te toetsen of er in Nederland inderdaad sprake is van uitstekende digitale infrastructuur en/of waar eventuele uitdagingen zijn of worden verwacht. Wij streven er niet naar om een uitputtende studie te doen van de staat van de digitale infrastructuur, aangezien daar al veel alternatief materiaal voor beschikbaar is. Het heeft meer het karakter van een *quickscan* waarop in latere delen van het rapport naar terugverwezen kan worden.

3.2 Indeling van digitale infrastructuur

In de rapporten en publicaties over digitale infrastructuur zien we de auteurs en onderzoekers verschillende keuzes maken in hun afbakening. De vraag waar het om draait is tot welk punt we het nog over digitale infrastructuur hebben en waar de digitale dienstverlening die voortbouwt op deze infrastructuur begint. Bij de meer traditionele telecom (zoals de aansluitnetwerken) is het nog duidelijk dat het over infrastructuur gaat, maar zodra er meer actieve componenten en diensten in beeld komen, zoals bij de verschillende vormen van hosting, wordt dit onderscheid minder strak. Om die reden heeft EZK aan TNO gevraagd om meer helderheid te verschaffen in de mogelijke onderverdelingen, inclusief een heldere beschrijving wat hieronder wordt verstaan.

De indeling van TNO benoemt enerzijds de fysieke connectiviteit, van aansluitnetwerken (publiek en privaat) tot internationale verbindingen, en anderzijds de steeds grotere gevirtualiseerde componenten van digitale infrastructuur. Hoewel de TNO-indeling conceptueel sterk en logisch is opgebouwd, zou het voor ons clusteronderzoek te ver gaan om alle individuele componenten en randvoorwaarden (>25) van deze indeling te behandelen in deze 'stand van de DI in Nederland'. Datzelfde geldt voor de latere beschrijving van de mogelijke interactie-effecten, dat zou het verkennende karakter van deze studie.

Om die reden hebben wij verschillende onderdelen geaggregeerd en zijn we tot de indeling uit Figuur 4 gekomen. We berusten ons hierbij op de variatie aan opdelingen zoals wij die zelf in het verleden hebben gebruikt, maar ook de indelingen die wij terug zien bij andere onderzoeksbureaus, trendrapportages en sectorstudies.



Figuur 4. Indeling digitale infrastructuur binnen dit onderzoek (bron: Dialogic o.b.v. o.a. TNO)

Box 1. Digitale infrastructuur is een marktaangelegenheid, in principe.

Waar de fysieke infrastructuur in Nederland primair in publieke handen en beheer zijn, is het overgrote deel van de digitale infrastructuur in handen van private ondernemingen. De overheid speelt sinds de privatisering vooral de rol van toezichthouder, marktordenaar, aanjager en afnemer. Op enkele bijzondere gevallen na (zoals de netwerken van Defensie en de hulpdiensten) zijn marktpartijen dus gezamenlijk zelf verantwoordelijk voor de aanleg en het in stand houden van dit steeds cruciaal wordende onderdeel van onze economie en maatschappij, waarbij een aanzienlijk deel van de bedrijven en technologie van buiten Nederland komt. Hier zit inherent spanning op, hoewel we in dit hoofdstuk zullen vaststellen dat de marktpartijen zich nadrukkelijk hebben bewezen in staat te zijn om hoogwaardige dienstverlening te leveren. Toch is er met het oog op complexiteit van het onderliggende ecosysteem en de toenemende oproep tot Europese en nationale autonomie altijd een zekere mate van spanning tussen de rollen van 'de markt' en 'de overheid'.

3.3 Stand van zaken per onderdeel van de DI

Hierna zullen wij per onderdeel een kort overzicht van de feitelijkheden behandelen, om te laten zien waar de sterktes en eventuele aandachtspunten zitten. We gaan in op de huidige stand van het aanbod en relevante ontwikkelingen.

3.3.1 Aansluitnetwerken



Bij de beschrijving van de aansluitnetwerken maken we onderscheid tussen vaste netwerken en draadloze netwerken. Bij de vaste netwerken is er een duidelijk verschil tussen het aanbod voor consumenten en kleinzakelijke afnemers enerzijds en de midden- en grootzakelijke afnemers anderzijds. Bij de draadloze netwerken maken we onderscheid tussen generieke netwerken en specifieke netwerken.

Vaste aansluitnetwerken

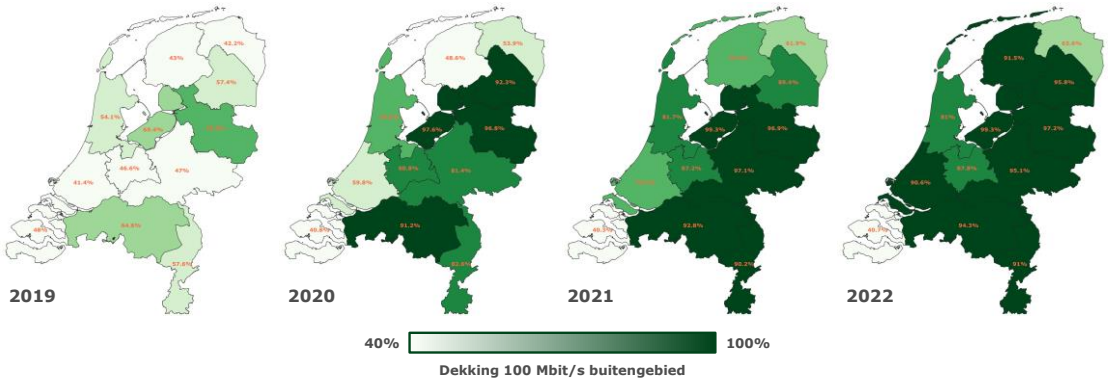
Consumenten- en kleinzakelijk aanbod

Er zijn in Nederland drie typen aansluitnetwerken waarmee consumenten en de kleinzakelijke markt worden bediend, glasvezel, DSL[3] en kabel. Met de uitrol van de nieuwe glasvezelaansluitingen[4] en de opwaardering van de coax-netwerken[5] zien we een stijgende lijn in de dekkingscijfers van beschikbare hoogwaardige aansluitingen. Onderstaande afbeelding en tabel toont deze ontwikkeling voor 100 Mbit/s en 1.000 Mbit/s beschikbare downloadsnelheid over een periode van 2017 tot 2022.

Tabel 2. Dekkingscijfers 100 Mbit/s en 1.000 Mbit/s periode 2019-2022 (bron overalsnelinternet.nl en Dialogic)

Dekkingscijfers	2019	2020	2021	2022
100 Mbit/s	97,4%	98,7%	99,2%	99,4%
1.000 Mbit/s	onbekend	48,7%	89,8%	98,5%

Het buitengebied is qua aanbod van hoogwaardige verbindingen lange tijd een aandachtsgebied door het ontbreken van kabelnetwerken en de beperkte snelheid van DSL. Met de uitrol van glasvezel in deze gebieden is voor een groot deel van de adressen een oplossing gekomen. Desondanks hebben wij in 2022 de verwachting uitgesproken dat dit voor 19.000 adressen een uitdaging zal blijven (zonder publieke interventie). [15]



Figuur 5. Dekking van 100 Mbit/s in het buitengebied (bron: EZK en Dialogic)

Middelgroot en grootzakelijk aanbod

Vaste aansluitnetwerken voor de middelgrote en grootzakelijke markt kennen een veel minder homogeen karakter. Eurofiber, Ziggo, Relined, BT en KPN zijn de grootste aanbieders van glasvezelaansluitingen met een landelijke dekking. Daarnaast zijn er tientallen kleine regionale en lokale aanbieders. Sommige afnemers bouwen zelfs hun eigen

[3] Sinds dit jaar (2023) is KPN begonnen het uitschakelen van netwerk op plekken waar zij glasvezel kunnen bieden via haar eigen netwerk.

[4] Glasvezelnetwerken bereiken inmiddels 75% tot 80% van de afnemers (ruim 6 miljoen aansluitingen) en dit aandeel groeit sterk. De rapportages lopen uiteen, maar voor 2022 wordt de uitrol geschat op 1,3 miljoen nieuwe aansluitingen (home passed).

[5] VodafoneZiggo en DELTA hebben hun netwerken vrijwel volledig geüpgraded naar DOCSIS 3.1 waarmee technisch gezien downloadsnelheden tot 5 Gbit/s mogelijk zijn. Verschillende kleinere kabelaars hebben er voor gekozen om de overstap naar glasvezel te maken, in plaats van verder te investeren in hun kabelnetwerk.

glasvezelnetwerken, denk aan TenneT, Rijkswaterstaat, maar ook talloze gemeenten. Tot slot zijn er kleinere aanbieders actief op individuele bedrijventerreinen.

Qua ontwikkeling richting de toekomst verwachten wij een verzadiging qua individuele (grootzakelijk) glasvezelaansluitingen. De grote partijen met een dergelijke zware connectiviteitsbehoefte hebben deze ondertussen ingevuld, vaak met meerdere aansluitingen ten behoeve van redundantie. We voorzien nog een restgroep aan kleine bedrijventerreinen die slecht wordt bediend, al heeft een aanzienlijk deel mee kunnen liften op de grootschalige FttH-uitrol in zowel het buitengebied als de (kleine) kernen. Hierdoor is ook een aantrekkelijker aanbod ontstaan voor (deel van) de groep ondernemers die voorheen tussen wal en schip vielen: een DSL- of kabelaansluiting voldeed niet, maar de investering voor een eigen glasaansluiting was te groot.

Draadloze aansluitnetwerken

Er zijn in Nederland drie aanbieders van grootschalige, generieke mobiele aansluitnetwerken over: ODIDO, KPN en VodafoneZiggo. Over deze netwerken bieden zij 2G, 3G en 4G (LTE) en 5G aan. Hiermee worden niet alleen smartphones bediend; deze netwerken worden ook gebruikt voor bijvoorbeeld IoT-toepassingen. De afgelopen jaren zijn partijen overgegaan tot de uitrol van 5G netwerken. Hierdoor wordt het mogelijk om ten opzichte van 4G meer bandbreedte aan te bieden, minder latency met hoge beschikbaarheid te realiseren en grotere aantallen randapparaten aan te sluiten.

De prestaties van de Nederlandse staan internationaal hoog aangeschreven, mede geholpen door ons beperkte hoogteprofiel en de hoge bevolkingsdichtheid. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld Duitsland, waar het buitengebied bekend staat om haar beperkte mobiele aanbod. Een veel besproken aandachtspunt in Nederland is wel (het ontbreken van) de inzet van de 3,5 GHz band; de aangewezen band voor hoge capaciteit 5G-toepassingen.

Naast de generieke mobiele netwerken zijn er verschillende specifieke draadloze netwerken. Hieronder enkele voorbeelden:

- Het C2000-netwerk dat door hulp- en veiligheidsdiensten gebruikt wordt;
- Het GSM-R-netwerk dat door de spoorsector gebruikt wordt;
- Het CDMA-netwerk van Utility Connect dat door utiliteitsbedrijven wordt gebruikt;
- Een TETRA-netwerk van Entropia voor missie-kritische (spraak)communicatie;
- Straalverbindingen tussen grootzakelijke locaties;
- Vast-draadloze netwerken (op basis van Wi-Fi of LTE-TDD) voor breedband in het buitengebied;
- Verschillende netwerken voor IoT, zoals LoRa en Sigfox, veel toegepast in vergunningvrije frequentieruimte.

Een belangrijke vraag is of de toepassingen waarvoor op dit moment specifieke netwerken worden gebruikt, straks niet (deels) kunnen worden gerealiseerd op basis van (generieke) 5G-netwerken. Daarnaast worden voor 5G diverse nieuwe zeer specifieke toepassingen verwacht, waarin de huidige specifieke netwerken niet kunnen voorzien (vanwege onder andere de grote hoeveelheden dataverkeer – denk bijvoorbeeld aan drones die met hoge kwaliteit draadloos video streamen).

Box 2. Rol van satellietnetwerken

De positie van satellietnetwerken valt bij de gekozen indeling enigszins tussen het wal en schip, terwijl ze wel hun functie en traditie hebben in het verzorgen van telefonie-, televisie- en internetdiensten. Bij satellietverbindingen kunnen we onderscheid maken tussen de 'traditionele' geostationaire satellieten en de zogenoemde Low Earth Orbit satellietsystemen. Bij de eerste variant gaat het om een satelliet die op een vaste positie op grotere afstand meedraait met de aarde. De LEO-systemen betreft de satellietoplossing van bijvoorbeeld Starlink, waarbij een satellietconstellatie van duizenden relatief kleine en goedkope satellieten in een baan om de aarde wordt gebracht. Doordat de satellieten relatief dicht bij de aarde blijven (low earth orbit), is de latency aanzienlijk beter dan bij traditionele satellietinternet het geval was. Ook moet het hogere snelheden mogelijk maken. Het is op dit moment nog wel engszins onduidelijk wat capaciteit van het netwerk is (het is immers een shared medium) en wat de prijs gaat doen zodra er meer gebruikers op komen.

Voor Nederland is de rol van satellietcommunicatie voor data-toepassingen vrij beperkt geweest, juist door de hoge beschikbaarheid van de vaste en mobiele aansluitnetwerken. Op uitzonderlijke locaties (sterk geïsoleerd, op het water, etc.) en voor bijvoorbeeld back-up ligt het gebruik wel voor de hand, waarmee de LEOS-oplossingen een welkome toevoeging zijn.

3.3.2 Backbone- en core-netwerken



De aansluitnetwerken die wij hierboven beschreven hebben moeten elkaar gekoppeld worden wil er een goed functionerend systeem ontstaan. Het woord *internet* komt immers van internetworking: netwerken die onderling verbonden zijn. Netwerkoperators koppelen aansluitnetwerken via een backhaulverbinding aan de kern van hun netwerk: de backbone. Beide type netwerken bestaan voor een groot gedeelte uit glasvezel, alleen voor backhaulverbindingen wordt op kleine schaal ook gebruik gemaakt van straalverbindingen. De verschillende netwerken van de netwerkoperators worden onderling gekoppeld via directe verbindingen ('private peering') en op (openbare) internetknooppunten. Hierover volgt later meer bij de toelichting op IX'en/peering, datacenters en hosting.

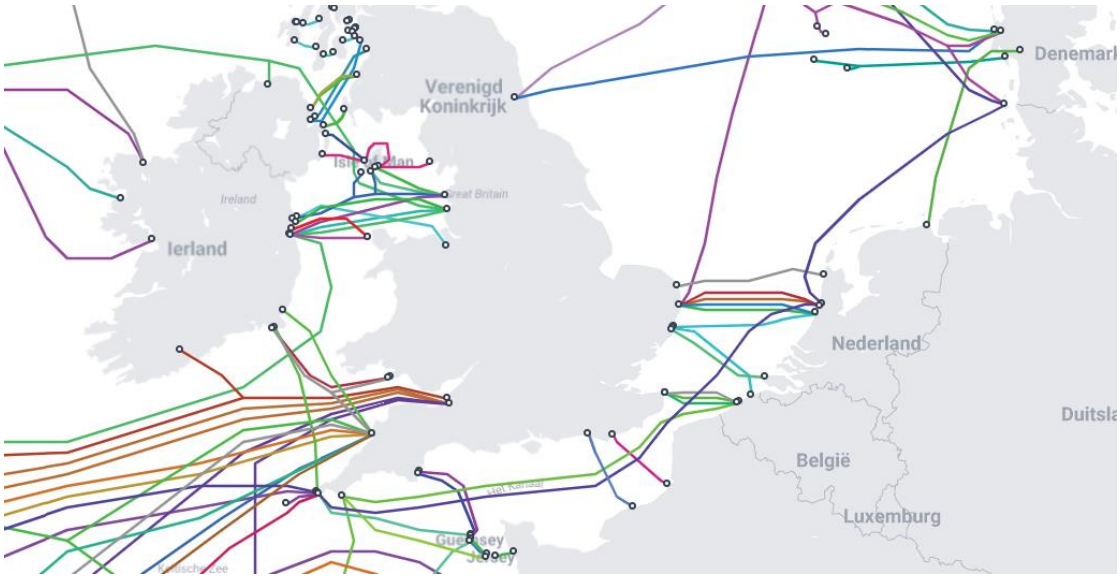
Wanneer we de beschikbaarheid en ligging van de core-netwerken in Nederland bezien, dan blijkt dat zij als een fijnmazig web door het hele land liggen; een logisch gevolg van de uitbreiding van het glasvezelnetwerk naar vrijwel alle adressen. Zonder hoogwaardige glasvezelkern is het immers niet mogelijk om hoogwaardige diensten via de aansluitnetwerken te bieden.

3.3.3 Internationale netwerken (land en zee)



Dit zijn de netwerken die gebruikt worden om IX'en en de andere grote netwerken (internationaal) te koppelen. Dit gebeurt grotendeels over land met de rest van het Europese continent. De verbindingen richting de VS, VK en andere werelddelen verloopt via zeekabels. Het is een onderwerp waarover de laatste twee jaar discussie is opgelaaid in hoeverre we hier onze huidige goede positie zullen behouden.[6] Figuur 6 toont het actuele aanbod van routes van en naar Nederland en dat van de landen om ons heen.

[6] Zie bijvoorbeeld de Kamerbrieven over het aanbod [open.overheid.nl] en de veiligheid van zeekabels: [open.overheid.nl] en de studies van Stratix naar de marktontwikkelingen [] en de vergunningsprocedures [].



Figuur 6. Huidig aanbod zeekabels Nederland en omliggende landen (bron: submarinecablemap.com)

Op de route naar het VK is een aantal systemen aan het eind van haar technische levensduur, te weten Ulysses 2, Circe North, Concerto en de Farland North. Hoewel er recentelijk drie nieuwe kabels gerealiseerd zijn (Scylla in 2021, Zeus in 2022, en BT North Sea in 2023), is er discussie over de noodzaak tot meer gevarieerde paden door de Noordzee en het wegvallen van de directe trans-Atlantische kabels zoals (voorheen) TAT-14[7] en AC-1[8] waren. Partijen die tegenwoordig deze kabels realiseren (m.n. Facebook, Microsoft, Google) kiezen voor Frankrijk en Spanje als landingsplaatsen om hun content op het Europees continent en de EMEA-regio beschikbaar te krijgen. Ook Ierland en de Scandinavische landen en zijn actief op dit onderwerp, wat bijvoorbeeld blijkt uit de meest recente CEF Digital toezeggingen voor (haalbaarheidsstudies voor) zeekabelprojecten.[9]

In combinatie met de (geopolitieke spanningen rondom) de oorlog tussen Oekraïne en Rusland hebben deze ontwikkelingen geleid tot de oprichting van de Zeekabelcoalitie, een publiek-private samenwerking om de aanlanding van nieuwe zeekabels te stimuleren.

[7] TAT-14 was in dienst tussen 2001 en 2020

[8] AC-1 is sinds 1999 in gebruik en zit daarmee ook aan het einde van haar technische levensduur (~20 jaar)

[9] Zie voor meer achtergrond en een overzicht van gunningen: [digital-strategy.ec.europa.eu] en [ec.europa.eu]

3.3.4 Datacenters



Gezien de verwachte centrale rol van datacenters in de latere analyse van de interactie- en clustereffecten, gaan we in deze sectie uitgebreider in op de datacentersector in Nederland.

Typen datacenters

Binnen datacenters is een onderscheid te maken tussen drie categorieën [16]:

- **Single tenant datacenters.** Deze datacenters hebben één partij die er servers gebruikt. Doorgaans is dit voor eigen gebruik, bijvoorbeeld door een bedrijf of overheid. In dat geval worden ze ook wel als enterprise datacenters aangeduid. Dit zijn de kleinere datacenters van bijvoorbeeld gemeenten en ziekenhuizen.
- **Multitenant datacenters,** ook wel colocatie datacenters genoemd. Deze datacenters verhuren serverruimte aan meerdere partijen. Ze variëren van klein en regionaal (< 5 MW) tot middelgroot, waarbij de laatste met name in de Metropoolregio Amsterdam gevestigd zijn.
- **Hyperscale datacenters**. Hyperscalers leveren grote cloud- of SaaS-toepassingen en hebben daarvoor, zeker sinds de Covid-pandemie, steeds meer datacenters nodig. Hierbij betreft het enkele grote partijen, zoals bijvoorbeeld Amazon, Google en Microsoft. Dit zijn de grote datacenters en in feite een bijzondere vorm van single tenant datacenters qua eigendom en aanwezige IT-hardware, maar waarbij de verhuur op het niveau van virtuele servers, containers of zelfs software.

De grootste datacenterhubs in Europa worden samen als de FLAPD aangemerkt: Frankfurt, Londen, Amsterdam, Parijs en (als laatste nieuwkomer) Dublin. Het connectiviteitsaanbod binnen faciliteiten maakt Amsterdam binnen de FLAPD interessant voor vestiging, specifiek voor toepassingen die afhankelijk zijn van een lage latency [17]. Binnen de sector speekt men ook wel van hyperconnectiviteit en *data gravity* op deze locaties, in het volgende hoofdstuk zullen we hier nader op ingaan.

Datacenters in Nederland

Tot dusver hebben diverse locaties, waaronder specifiek in de Metropoolregio Amsterdam, een zeer goed vestigingsklimaat voor datacenters. Relevante partijen in het ecosysteem, waaronder leveranciers en dienstverleners, bevinden zich allen in de clusters. De aanwezigheid van datacenters levert werkgelegenheid op. Daarnaast betekent fysieke aanwezigheid van grotere contentpartijen en dienstenaanbieders betere dienstverlening voor Nederlandse eindgebruikers en zakelijke partijen, vanwege de mogelijkheden tot directe peering, hoge capaciteit en lage latency van de connectiviteit naar deze diensten. Daar staat tegenover dat er ruimtelijk en voor wat betreft stroomvoorziening tegen grenzen aangelopen wordt.

Er is nog altijd sprake van groei in datacentercapaciteit (in termen van ruimte een groei van 267.000 m² in 2018 naar 386.000 m² in 2023). Het aantal faciliteiten neemt over die periode wel af door een zekere mate van consolidatie. Een jaarlijkse groei van 6,6% wordt verwacht tot 2028 in m² en van 8,9% in MW [16]. In 2022 was de datacenterstop in de MRA oorzaak voor een groei die lager was dan verwacht, maar ook concurrentie van kleinere hubs in Europa wordt genoemd als uitdaging [17]. Nog altijd staat zijn het VK, Duitsland, Nederland en Frankrijk met een opgesteld vermogen van respectievelijk 559 MW (VK), 360 MW (DU), 350 MW (NL) en 222 MW (FR) gezamenlijk goed voor bijna driekwart van het totaal opgestelde colocatievermogen in Europa (2022 MW). [18]

In Nederland zijn op dit moment twee hyperscale-datacenterlocaties: Eemshaven (Google) en Middenmeer (Microsoft en Google). Een derde locatie voor een nieuwe hyperscaler (Meta

in Zeewolde) is er niet gekomen. In de nasleep van de Meta-plannen is er aan wetgeving gewerkt die het moeilijker maakt voor hyperscalers om nieuwe locaties te openen in Nederland. Er is een algemene maatregel van bestuur aangekondigd waarmee het ontwikkelen van nieuwe hyperscale datacenter capaciteit wordt beperkt tot twee plekken in Nederland. Dit betreft Middenmeer (alleen uitbreiding bestaande hyperscale-capaciteit) en Eemshaven (uitbreiding huidige hyperscale capaciteit én vestiging nieuwe hyperscalers). [19]. Daarmee is het praktisch gezien alleen nog mogelijk om uit te breiden op de bestaande locaties. Op internationale schaal stellen we vast dat hyperscalers wereldwijd uitbreiden en werken aan aanwezigheid in steeds meer landen. Zo heeft Microsoft dit jaar nieuwe investeringen aangekondigd in Italië, Polen, Zweden, Noorwegen [20].

Uitdagingen voor datacenters

Grote uitdagingen voor nieuwe datacenters in Nederland zijn op dit moment toegang tot voldoende energie/het energienetwerk en negatief sentiment tegen datacenters en toegang tot goed personeel [17] [16]. Deze problemen zijn internationaal gezien overigens niet uniek. Het aantal onvervulde vacatures in Amsterdam is sinds 2020 afgenomen [17]. Uit gesprekken met stakeholders komt naar voren dat, hoewel het een probleem is, Nederlands personeel relatief goed geschoold is en het daarom in veel gevallen makkelijker is om goed personeel te vinden dan in omringende landen. Daarnaast geldt dat toegang tot energie in de andere FLAPD hubs even goed speelt, met bijvoorbeeld in Dublin een stop op nieuwe datacenters vanwege de energieleveranties. In Frankfurt en Parijs worden toegang en prijs ook als grote uitdagingen benoemd. Alleen voor Noord-Engeland wordt aangehaald dat het als nieuwe hub wel voldoende toegang tot hernieuwbare energie biedt [17].

3.3.5 IX'en en Peering



Zoals we bij het onderdeel core-netwerken al kort aan bod lieten komen, zorgen internet exchanges en de uitgebreide directe peering tussen content- en dienstenleveranciers voor de (internationale) verbondenheid van alle online informatie-uitwisseling. In Nederland zijn veel verschillende exchanges actief, waaronder de AMS-IX, NL-IX, Speed-IX, LSIX, ERA-IX en NDIX.[10] Van deze selectie is de Amsterdam Internet Exchange (AMS-IX) verreweg de grootste. De AMS-IX is één van de grootste internet exchanges van de wereld en het afgehandelde verkeer groei al jaren zeer sterk: van jaarlijks 4 exabyte in 2012 naar 29 exabyte in 2022, met pieksnelheden die de laatste maand 11,8 Tb/s bereikten. [21]. Ter referentie: de Brazil internet exchange (grootste ter IX ter wereld) piekte met haar 36 locaties recent naar ruim 31,4 Tb/s, met São Paolo als grootste locatie met ruim 20 Tb/s en ruim 2.200 aangesloten netwerken. [22] De DI-CIX in Frankfurt zit op dit moment op 15,8 Tb/s en 1.075 verbonden ASN's.

Op deze exchange wisselen heel veel aanbieders en afnemers van internetverkeer hun data uit. Een aanzienlijk deel van de peering vindt plaats voor internationale bedrijven [5] [7]. Op het moment van schrijven verbindt de AMS-IX in totaal 873 ASN's [23]. Zo vormen AMS-IX (en in mindere mate ook bijvoorbeeld de NL-IX) een internationaal knooppunt van internetverkeer en een toegangspunt voor (met name) Amerikaanse bedrijven naar Europa [5]. De aanwezigheid van de AMS-IX en haar koppelmogelijkheden is één van de sterkte interactie-effecten die wij in het volgende hoofdstuk zullen behandelen.

De toename aan het verwerkte verkeer op internetexchanges laat echter niet het volledige beeld zien. Een steeds groter deel van het verkeer wordt namelijk direct van de contentleverancier (NPO, Netflix, YouTube) aan de netwerkoperators geleverd, zonder tussenkomst

[10] Zie voor een volledig overzicht: [www.internetexchangemap.com]

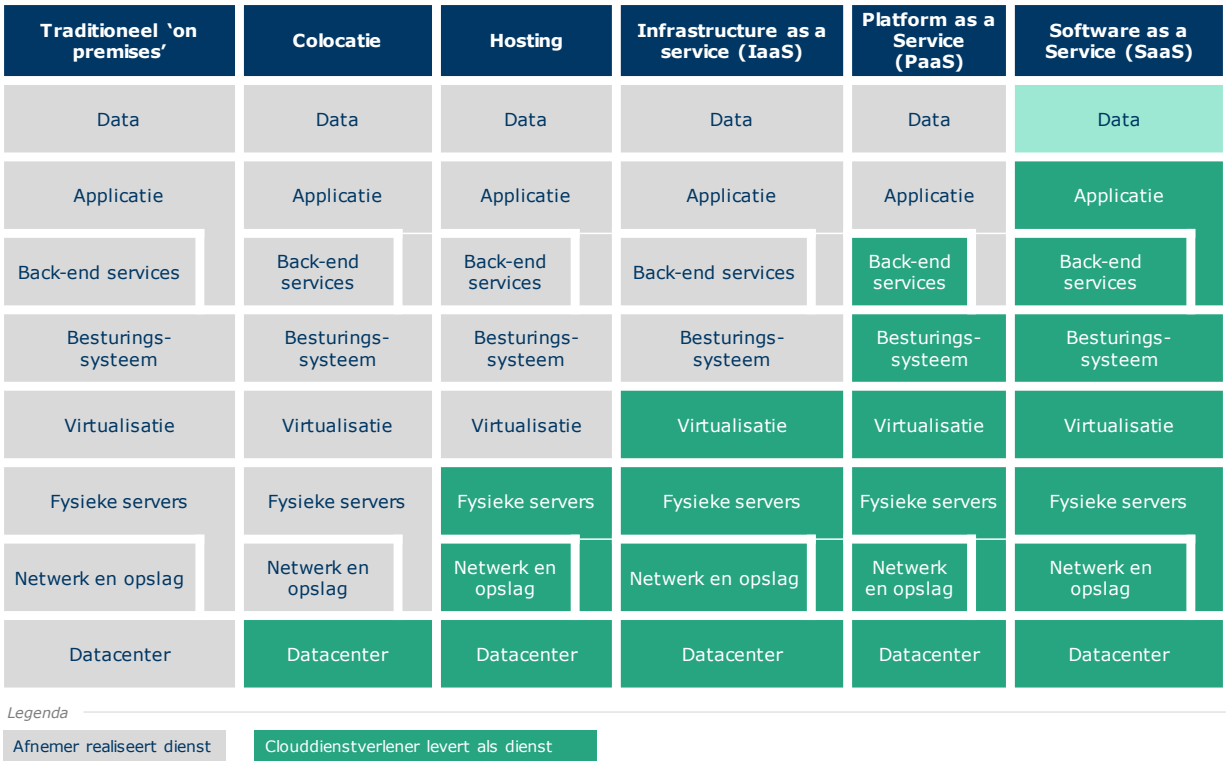
van het 'open' internet, of zelfs in direct in de netwerken opgeslagen (d.m.v. zogenoemde Content Delivery Networks, zie Box 3 hieronder). Ook binnen zakelijke dienstverlening en in de backend van allerlei geïntegreerde digitale diensten zien we een hoge mate van directe verbondenheid tussen partijen, met name met de grote cloudaanbieders (zie volgende paragraaf). Hier zit zowel een technische (efficiënter en meer controle door direct te koppelen) als een kostenafweging (goedkoper bij grote volumes).

Box 3. Content Delivery Networks

Een content delivery network (CDN) is een geografisch verspreide groep servers die content in de cache plaatst in de buurt van eindgebruikers. Een CDN zorgt voor een snelle overdracht en laden van internetcontent, waaronder HTML-pagina's, afbeeldingen en video's. De populariteit van CDN-services blijft groeien en tegenwoordig wordt het grootste deel van het webverkeer via CDN's aangeboden, inclusief verkeer van grote sites als Facebook, Netflix en Amazon. Zie bijvoorbeeld de Open Connect oplossing van Netflix: [openconnect.netflix.com]. In Nederland hebben 21 CDN's een locatie. Daarmee staat Nederland gelijk aan veel grotere landen, zoals Frankrijk, Duitsland, Spanje, het Verenigd Koninkrijk en Italië.

3.3.6 Hosting en cloud

Gezien het zeer snel toegenomen belang van (online) reken- en opslagmogelijkheden via colocatie, hosting en de cloudoplossingen van Amazon (AWS), Microsoft (Azure), Google (GCP) en Alibaba (Alibaba Cloud), zijn ze onlosmakelijk onderdeel geworden van de digitale infrastructuur. Zonder toegang tot deze diensten komt vrijwel alle digitale dienstverlening tot een abrupt einde. Om beter grip te krijgen op de onderverdeling tussen de meer traditionele locatiegebonden cloudoplossingen tot aan volledig beheerde cloudoplossingen, toont Figuur 7 de verschuiving van beheerverantwoordelijkheden tussen de afnemers en aanbieders van hosting- en clouddiensten.



Figuur 7. Verantwoordelijkheden qua beheer in traditionele hosting en cloud (bron: Dialogic)

Waar bij traditionele '*on premise*' en colocatie de fysieke locatie nog relevant (en bekend) was, is dit bij de verschillende vormen van clouddiensten niet meer per definitie het geval. Door de virtualisering van de servercapaciteit is het mogelijk geworden om de dienstverlening vanuit elke willekeurige locatie aan te bieden, zoals van een eigen hyperscale datacenter van de aanbieder, maar ook op (tijdelijk) gehuurde locaties in binnen- of buitenland.

Dit is ook de kern van het begrip cloud: het leveren van IT-diensten, zoals software, databases, servers en netwerken, via het internet zodat eindgebruikers altijd en overal toegang hebben tot hun software en applicaties. Dit kan volledig via een van de grote aanbieders (*public cloud*), volledig in een eigen omgeving (*private cloud*) of juist met een combinatie van beiden (*hybrid*).

Kijken we naar het in Nederland beschikbare aanbod aan cloud-aanbieders, dan stellen we vast dat zowel de grote internationale spelers als een grote variatie aan gespecialiseerde en sectorspecifieke aanbieders prominent aanwezig zijn en hun diensten aanbieden. De mogelijkheden om tot hybride cloudoplossingen te komen zijn met name in de MRA groot. Ook vanuit andere regionale datacenters is het vrij eenvoudig om onderdeel te worden van de Amsterdamse netwerken; er is een hoge mate van interconnectie tegen lage tarieven. Ook de cloud-adoptie onder bedrijven is hoog: volgens de laatste DESI-cloud-indicator gebruikt 60% van de alle Nederlandse bedrijven cloud-toepassingen. We staan hiermee vierde achter Zweden (69%), Finland (66%) en Denemarken (62%), maar scoren ruim boven het Europese gemiddelde (34%).[11]

De verwachtingen rondom *edge computing* lijken nog enigszins onbestemd; Nederland is immers een erg klein en dichtbevolkt land en voor de meeste toepassingen lijkt het bestaande aanbod van datacenterlocaties al geconcentreerd genoeg voor de nu voorziene toepassingen.

Box 4. De niet-technische aspecten van de digitale hub

Er is nog een aantal overkoepelende sterktes en aandachtspunten van de Nederlandse digitale infrastructuur die door deze stapsgewijze analyse beperkter aan bod zijn gekomen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de goede aanwezigheid van technisch talent (maar tegelijkertijd ook de schaarste hierin), het gevarieerde scholingsaanbod, waaronder datacenteropleidingen (maar nog altijd de roep ook betere aansluiting tussen onderwijs en arbeidsmarkt), de opgebouwde reputatie van Nederland als aantrekkelijke uitvalsbasis voor digitale diensten (en de druk die hierop staat), en de hoge mate van organisatie in de sector via o.a. brancheverenigingen (maar de sector blijft alsnog relatief jong wanneer we die vergelijken met meer traditionele sectoren).

3.4 Nederlandse DI in internationaal perspectief

Nu we de Nederlandse DI-componenten op hoofdlijnen in beeld hebben, is de volgende vraag hoe deze componenten zich op internationaal niveau laten meten. Het is in principe mogelijk om per individueel DI-onderdeel een internationale vergelijking te maken van onze prestaties. Wij kiezen hier, met het oog op de doelstelling om alleen een quickscan te presenteren, een meer geaggregeerde indruk aan de hand van de Digital Economy and Society Index (DESI).

De DESI-index is al jaren de meest gebruikte internationale indicator om de digitale economie van Europese landen te vergelijken. Jaarlijks worden de prestaties van Europese lidstaten op het gebied van digitale connectiviteit, digitale vaardigheden, onlineactiviteiten

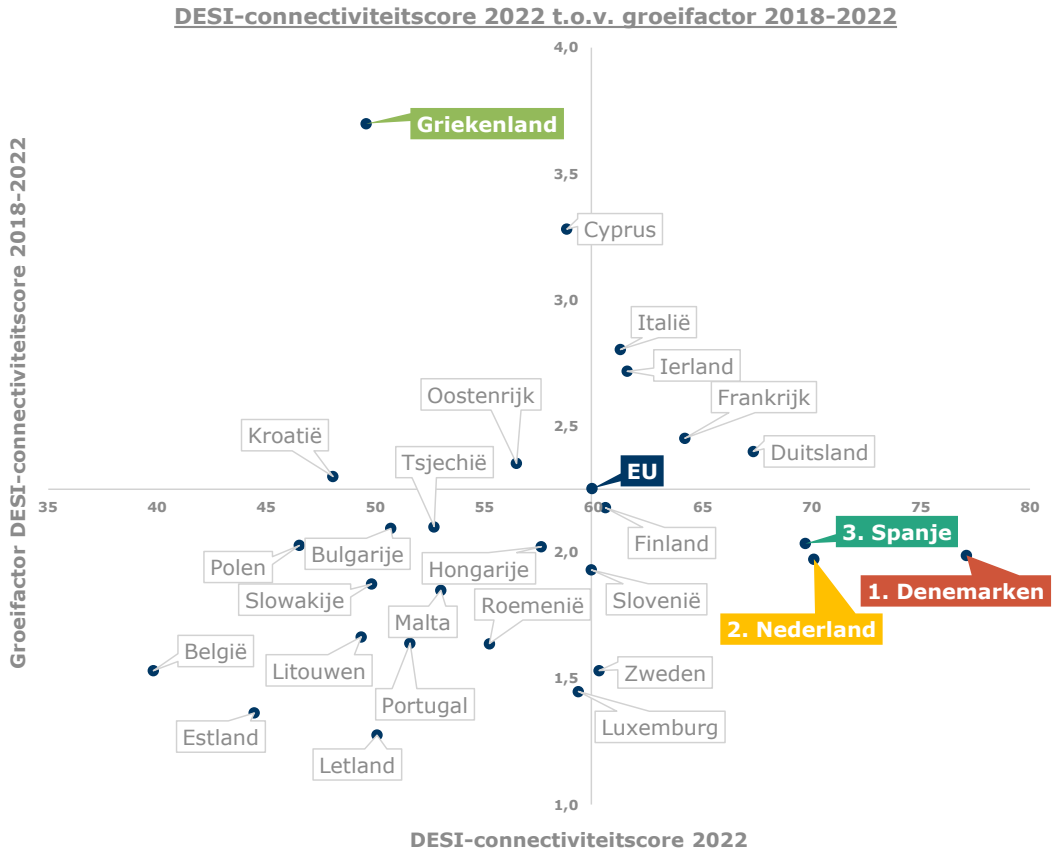
[11] Zie: [digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu]

en digitale overheidsdiensten verzameld en samengevat in één score. Deze score omvat voor de duidelijkheid meer dan alleen de digitale infrastructuur. Nederland scoort al jaren erg goed: in 2017 stond Nederland op de vierde plek en dit jaar zelfs op de derde positie na Finland en Denemarken. [24] Dit laat zien dat Nederland stabiel sterk presteert in Europees verband op het vlak van digitalisering.

Niet alleen de absolute score is hierbij relevant, juist de snelheid waarmee de achterlopende landen hun positie versterken is waardevol om te monitoren. Onderstaande figuur toont deze ontwikkeling op het gebied van de connectiviteit-indicatoren van de DESI. Deze deel-indicator laat zien hoe wij scoren op het gebied van vaste en mobiele aansluitingen (en dus nadrukkelijk niet onze volledige scope van DI). Op deze ranglijst staat Nederland op de tweede positie na Denemarken en voor Spanje op plek 3. Kijken we naar de groeifactor over de periode 2018-2022, dan stellen we echter wel vast dat Nederland onder het Europese gemiddelde scoort en dat met name Griekenland een grote stap heeft gemaakt.

Zaak is dus vooral om te monitoren of er geen sprake zal van het zogenoemde *leapfrog* effect: landen met een technologische achterstand kunnen vaak sneller ontwikkelen door direct modernere oplossingen te adopteren, waardoor zij de koplopers zelfs voorbij kunnen steken. Een veel gehoord voorbeeld is de hoge adoptiegraad van mobiele netwerken en (financiële) toepassingen in Afrikaanse landen: veel burgers hebben nooit beschikt over een vaste internetaansluiting en internetbankieren via een vaste PC, maar zijn met de uitrol van mobiele netwerken (vaak direct naar 4G) direct ingestapt op allerlei vormen van mobiele betaalmethoden via eenvoudige smartphones.

Sinds dit jaar is de Commissie afgestapt van het rapporteren van een integrale DESI-score, maar is het alleen nog mogelijk landen op specifieke onderwerpen met elkaar te vergelijken op het *DESI 2023 dashboard for the Digital Decade*.



Figuur 8. DESI-connectiviteitscore 2022 uitgezet tegen de groeifactor in periode 2018-2022 [24]

3.5 Conclusies

Uit de *footprint* van het bestaande DI-landschap blijkt dat Nederland al jaren erg goed scoort op alle onderdelen van de DI, wat ook blijkt uit hoge positie op de DESI-ranglijsten. Van aansluitnetwerken tot de hogere lagen qua dienstverlening, op alle vlakken scoren we goed tot internationaal toonaangevend. Een beknopt overzicht van de belangrijkste observaties wordt hieronder weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3. Observaties per onderdeel van de DI

Onderdeel	Belangrijkste observaties
	• Vrijwel alle adressen beschikken over hoogwaardig vast aanbod. Consumenten en zakelijke afnemers zijn daardoor goed bereikbaar • Er is een kleine restgroep in het buitengebied (19k) en kleine bedrijventerrein • Aanbod/opwaardering naar 5G via 3,5 GHz heeft flinke vertraging opgelopen, oplossing en veiling nu wel echt in zicht.
	• Backbone- en core-netwerken door heel het land aanwezig met schaalbare netwerkapparatuur. Voor zowel vaste en mobiele aansluitnetwerken als individuele partijen is realisatie van nieuwe aansluiten op deze hoofdtracés eenvoudig en tegen lage kosten mogelijk.
	• Verschillende landroutes beschikbaar naar belangrijke andere hubs in Europa. • Zeekabels verouderd, investeringen op UK-tracé, maar NL geen onderdeel meer van Trans-Atlantisch systeem. PPS opgericht op nieuwe landingen aan te trekken en vergunningsproces te versimpelen
	• MRA één van de grootste DC-hubs van Europa, hyperscalers in Groningen en Middenmeer. • Uitbreidingsmogelijkheden beperkt door energie- en ruimtelijke ordeningsvraagstukken, 'tijdsgeest tegen'.
	• AMS-IX belangrijke aanjager geweest van veel van de investeringen in datacenters, zeekabels en digitale diensten, groei in aantal aangesloten netwerken en (piek)verkeer nog altijd sterk. • Bestendiging directe peering en CDN's van/naar grote content- en cloudaanbieders.
	• Aanwezigheid van zowel grote internationale (public) cloud aanbieders als een variëteit aan (sectorspecifieke) private aanbieders, veel mogelijkheden voor hybride oplossingen • Goede uitgangssituatie voor edge computing, bestaande cloud- en datacenterinfra waarschijnlijk al voldoende

Van deze observaties zijn wat ons betreft beperkte groei in datacenters en de uitgebleven vervanging voor aansluiting op Trans-Atlantische systemen aanwijsbare degeneraties, hoewel de echte (technische) impact lastig is om hard te maken. Het is voor ons in het bestek van dit onderzoek niet eenduidig vast te stellen in hoeverre druk op uitbreiding van het huidige aanbod van zowel datacentervloer in Nederland en andere Europese landen tot knelpunten leidt, evenals het aantal mogelijke routes via zee naar de belangrijke mondiale hubs.

4 Interactiemechanismes binnen DI

Kernpunten van dit hoofdstuk

Het blootleggen van de interactiemechanismes binnen en tussen de zes DI-onderdelen doen wij aan de hand van een **confrontatiematrix**. Per onderdeel van de DI bepalen wij of er sprake is van schaal-, scope- of agglomeratievoordelen. De uitwerking van al deze relaties is in de bijlage van het rapport opgenomen, de visuele samenvatting maakt onderdeel uit van dit hoofdstuk.

Met onze gestructureerde analyse van de interactie-effecten hebben wij aangetoond dat er binnen DI **duidelijk** sprake is van schaal-, scope- en agglomeratie-voordelen. Het beeld is dat de sterkste agglomeratie-effecten met name in de hogere lagen van het model optreden en dus maar beperkt in de aansluit- en core-netwerken. In die lagere lagen spelen wel weer duidelijk schaal- en scopevoordelen.

Met de analyse hebben we goed kunnen aantonen wat de **interactiemechanismes** zijn die ervoor zorgen dat 'vliegwiel' achter de hoogwaardige Nederlandse DI-dienstverlening op gang is gekomen en nog steeds blijft draaien. Veel van de sterktes en afhankelijkheden zitten ook in **niet-technische argumenten**: de toegang tot kennis en ervaring, het gemak van zakendoen in Nederland, de digitale vaardigheden van de afnemers, et cetera.

4.1 Interactie-effecten: de confrontatiematrix

In dit hoofdstuk analyseren de interactie- en agglomeratie-effecten binnen de digitale infrastructuur. We hanteren hierbij de centrale concepten zoals wij die in hoofdstuk 2 hebben geïntroduceerd, te weten schaalvoordelen, scopevoordelen, en of agglomeratie-effecten. Bij de eerste twee voordelen kijken we primair naar de voordelen voor en binnen de individuele spelers, terwijl bij agglomeratievoordelen met name de onderlinge versterkende afhankelijkheden centraal staan. Zoals gezegd kijken we niet voor elke interactie naar de netwerkvoordelen, maar zullen we deze in de verdiepende uitleg aanhalen waar nodig.

De bevindingen vatten we samen in een confrontatiematrix, waarin we de DI-onderdelen tegen elkaar uitzetten. Met deze aanpak bieden we ook ruimte voor eventuele asymmetrische relaties, waarbij de relaties dus niet altijd in twee richtingen even sterk hoeven te zijn. We verwachten in deze analyse een zekere mate van toe- en afnemende meeropbrengsten. Meer aanbod en redundantie draagt in principe bij aan een hogere kwaliteit en betrouwbaarheid van de netwerken, maar er zal een punt zijn waarop deze additionele voordelen gaan afnemen of zelfs voor meer negatieve externaliteiten zorgen.

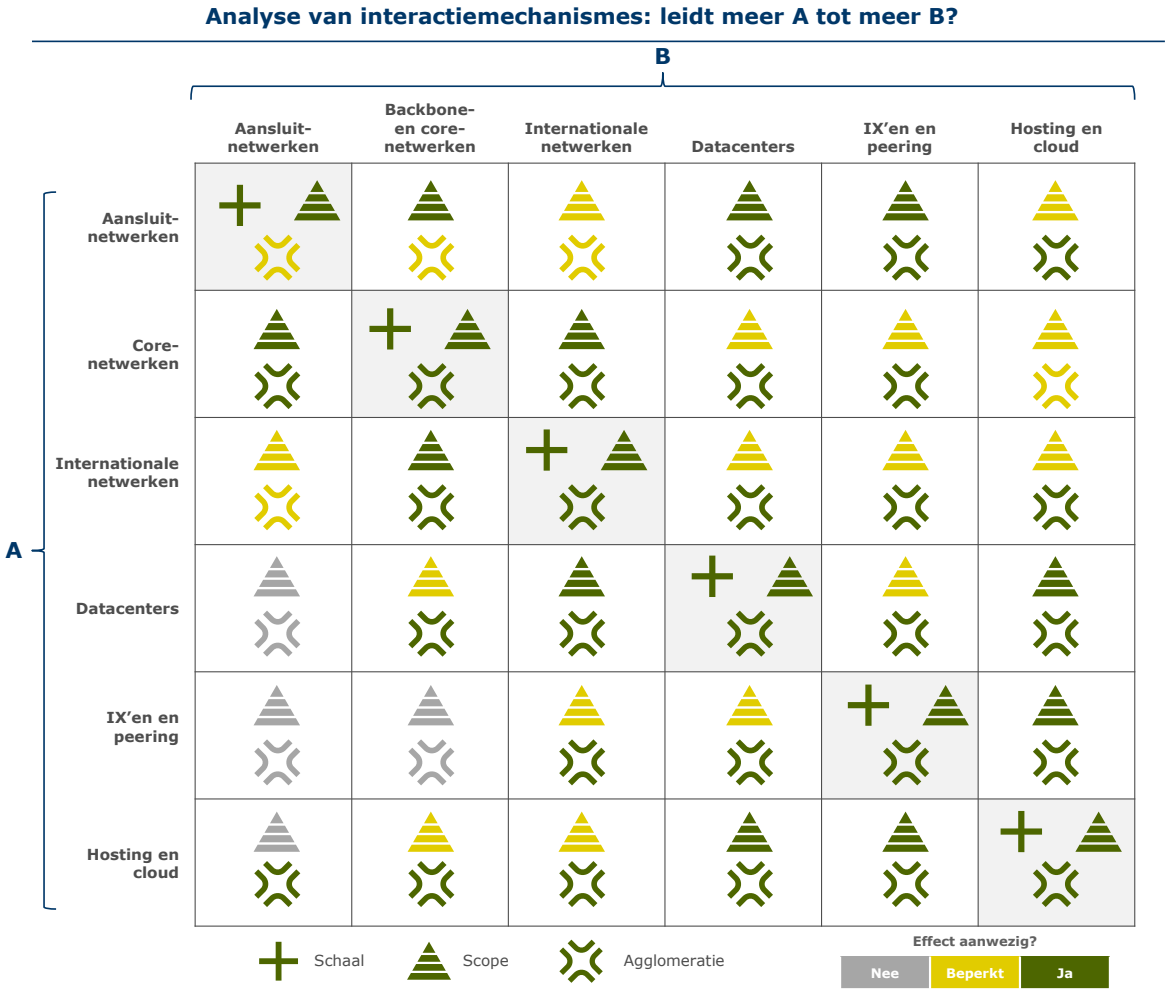
Concreet stellen wij in elke cel de volgende vragen:

- **Schaalvoordeel**: leidt meer *DI-onderdeel* van partij **X** tot meer *DI-onderdeel* van partij **X**?
- **Scopevoordeel:** leidt meer *DI-onderdeel-1* van partij **X** tot meer *DI-onderdeel-2* van partij **X**?
- **Agglomeratievoordeel:** leidt meer *DI-onderdeel(-1)* van partij **X** tot meer *DI-onderdeel(-2)* van partij **Y**?

De vraag met betrekking tot schaalvoordeel kunnen we per definitie alleen stellen op de diagonale cellen, aangezien we het daar over de zelfversterkend effecten van de individuele DI-onderdelen hebben.

4.2 Interactie-effecten tussen de DI-onderdelen

In onderstaande interactiematrix vatten wij onze bevindingen voor alle gevonden interactie-effecten samen. We zien binnen alle DI-onderdelen sterke **schaalvoordelen**: het loont zeer voor aanbieders om meer aansluitingen, routes, netwerken of dienstenaanbod in eigen hand te hebben. De IX'en zijn hierbij het meest concrete en meetbare voorbeeld van een activiteit met zeer sterke netwerkeffecten: er zijn verschillende exchanges in Nederland, maar de AMS-IX is verreweg de grootste en daarmee het meest aantrekkelijk voor nieuwe partijen om mee te verbinden. **Scopevoordelen** zien we zowel binnen de zes DI-categorieën als ertussen: aanbieders van mobiele netwerken hebben ook een sterke positie in de vaste markt (dezelfde DI-categorie) en een eigenaar van internationale verbindingen wil bij voldoende afname waarschijnlijk ook goede eigen doorvoerroutes binnen Nederland (verschillende DI-categorieën). Tot slot zien we dat de **agglomeratievoordelen** het sterkst aanwezig zijn in de hoek het samenspel tussen datacenters, IX'en en hosting en cloud. In die groep speelt het sterkst dat de lokale aanwezigheid van gelijksoortige aanbieders elkaar versterkt. Bijlage 2 bevat een matrix met per relatie een opsomming van de interacties die wij hebben geïdentificeerd, deze zijn visueel samengevat in Figuur 9. In volgende paragraven geven we meer per onderdeel meer uitleg de gevonden effecten.



Figuur 9. Interactiematrix van de DI-componenten

4.2.1 Aansluitnetwerken

Voor aansluitwerken spelen met name **schaalvoordelen** (*economies of scale*) en **scope-voordelen** (*economies of scope*). Hieraan liggen de volgende mechanismes ten grondslag:

- **Schaalvoordelen** spelen in de aanleg van aansluitnetwerken. Bij aanleg van een zowel een vast als een mobiel aansluitnetwerk of bij de uitbreiding van een bestaand aansluitnetwerk loont het zo veel mogelijk afnemers in het verzorgingsgebied te bedienen. De aanleg geeft een positie van waaruit het kosten scheelt om dit verder uit te breiden. Het gemakkelijker om een netwerk verder uit te breiden wanneer dit al ten dele ligt omdat er aangesloten kan worden op het eigen netwerk. Omdat de aansluitnetwerken van één aanbieder zijn spelen hier primair schaalvoordelen en geen agglomeratievoordelen.
- **Schopevoordelen** spelen twee kanten op een rol voor aansluitnetwerken in combinatie met zichzelf (mobiel en vast) en met core-netwerken. Er ligt voordeel in de aanleg van een core-netwerk gelijktijdig met de aanleg van een aansluitnetwerk. Er zijn economische voordelen in het bezitten van zowel de core-netwerken als de aansluitnetwerken die hiermee verbonden zijn, bijvoorbeeld omdat fibers uit dezelfde glasvezelbackbone voor zowel het vaste netwerk als de mobiele opstelpunten gebruikt kunnen worden.

Voor aansluitnetwerken spelen nog andere interacties een rol die minder direct van aard zijn of niet technisch.

- Het hebben van uitstekende connectiviteit en goed verbonden eindgebruikers creëert een sterke afzetmarkt voor digitale diensten, bijvoorbeeld van hosting, cloud en platform. Nederland is als markt niet groot, maar biedt genoeg schaal om producten te testen. Dat, gecombineerd met de hoge mate van connectiviteit, maakt het een geschikte testmarkt.
- Aansluitnetwerken moeten onderling (core) en met het internet (ix, peering) verbonden worden. Dat uitkoppelen gebeurt in de praktijk maar op een beperkt aantal punten verspreid over Nederland, waardoor het voor beide kanten (netwerkeigenaar en te koppelen partij) eenvoudig is om verkeer van/naar een groot aantal afnemers af te wikkelen.

Het **agglomeratie-effect** tussen de verschillende netwerken zien we slechts in beperkte mate; het is voor een aanbieder juist aantrekkelijk om als eerste en enige hoogwaardig aanbod via een vast of mobiel netwerk aan te bieden. De onderlinge concurrentie leidt er hooguit toe dat de algehele adoptiegraad voor digitale technologie hoger wordt, waardoor er voor de langere termijn zekerheid van afname bestaat.

4.2.2 Backbone- en core-netwerken

Core-netwerken verbinden aansluitnetwerken met elkaar en ‘de buitenwereld’ via bijvoorbeeld internet exchanges en datacenters. Daarmee heeft de aanwezigheid en dekking van core-netwerken effecten op een groot aantal onderdelen van DI.

- Binnen core-netwerken spelen **schaalvoordelen** in het belang om met een core-netwerk landelijke dekking te bieden. Een core-netwerk krijgt meer waarde door het ontsluiten en verbinden van meer locaties en netwerken.
- Core-netwerken leiden in zekere mate ook tot meer of betere aansluitnetwerken. Hierin spelen de **scopevoordelen**. Het core-netwerk kan worden ingezet voor meerdere doeleinden, bijvoorbeeld als de backbone voor de ontsluiting vast vaste en mobiele netwerken, voor verhuur van langeafstand dark fiber tracés en voor transit van internationaal verkeer.

- Core-netwerken bieden **agglomeratievoordelen** in combinatie met een aantal andere elementen van de digitale infrastructuur.
    - Wanneer een core-netwerk landelijk dekkend is het gemakkelijker om deze over land te verbinden met een core-netwerk van een buurland. Zo heeft Nederland een aantal aansluitingen met Duitsland en België waar de core-netwerken bij elkaar komen.
    - Aansluiting op core-netwerken is een randvoorwaarde voor datacenters, specifiek multi-tenant en hyperscaler. Verkeer hiertussen kan verlopen via IX'en, maar verlopen voor grote contentaanbieders doorgaans via *private peering* naar de core-netwerken.

Backbones ontsluiten de aansluitnetwerken naar andere (internationale) netwerken. Ze trekken op zichzelf niet direct andere activiteiten aan, maar zijn wel belangrijk voor een goede connectiviteit van de eindgebruiker.

4.2.3 Internationale netwerken

De internationale netwerken en specifiek zeekabels worden vaak genoemd als belangrijke drijvers voor de internationale knooppuntrol van Nederland. Historisch had Nederland als node van trans-Atlantische systemen een sterke positie: de eerste trans-Atlantische verbinding via een niet-militaire lijn werd met Centrum voor Wiskunde en Informatica in Amsterdam gelegd [25]. Aan deze verbindingen in combinatie met de ontwikkeling van de AMS-IX wordt een rol aan Nederland toegeschreven als toegangspoort tot Europa, met aantrekken van bedrijvigheid die afhankelijk is van connectiviteit als gevolg. Tegelijkertijd kregen ook andere Europese landen in dezelfde periode aanlandingen en kwam ook daar de digitale transformatie op gang.

Rondom de aanwezigheid van internationale netwerken zien wij vooral **agglomeratievoordelen**. Daarbij spelen de volgende voordelen:

- De aanwezigheid van internationale netwerken kan de ontwikkeling van andere internationale netwerken stimuleren. Wanneer een locatie goed internationaal verbonden is en dichterbij is dan andere hubs is het aantrekkelijk om daar ook mee te verbinden.
- Ligging nabij zeekabels is interessant voor hyperscalers, voor het bedienen van een groter gebied. Hierbij kunnen ook **scopevoordelen** opspelen waar hyperscalers er zelf voor kiezen om zeekabels aan te leggen, met bijbehorende datacenterhubs. Hiervan is de nieuwe Nuvem zeekabel van Google, landend in Portugal, een voorbeeld.
- Ligging nabij zeekabels is interessant voor partijen in multitenant datacenters omdat het toestaat om efficiënt internationaal te opereren. Een groot deel van de partijen in Nederlandse datacenters is internationaal georiënteerd [7]. Hierbij speelt mee dat Amsterdam een centrale ligging heeft met goede verbindingen naar alle andere hubs in Europa, zowel over land als door zee [5]. Indirect biedt dit voordelen voor cloud- en hostingaanbieders.
- Internationale verbindingen stimuleren IX en peering. In veel gevallen is dit internationaal, dus heeft dit baat bij nabijheid van internationale verbindingen. Dit is terug te zien in de positie en opkomst van de AMS-IX.

Naast deze voordelen moeten we een kritische noot plaatsen. Internationale zeekabels hoeven niet per se in Nederland aan te landen om een goede internationale connectiviteit te bieden. Een verbinding naar een (buur)land met een trans-Atlantisch aanlandpunt kan alsnog een goede verbinding met Amerikaanse netwerken bieden. Bovenstaande voordelen zijn dus niet volledig afhankelijk van aan de aanlanding van zeekabels in Nederland.

4.2.4 Datacenters

In de interactie-effecten van datacenters zullen we voornamelijk spreken over multitenant datacenters en hyperscalers. Regionale/single-tenant datacenters zijn per definitie verspreid om de lokale markt te kunnen bedienen. We bespreken hier eerst multitenant datacenters en hyperscale datacenters los van elkaar. Ten slotte gaan we nog kort in op de internationale verhoudingen tussen datacenter hubs en de verschuivingen die daarin plaatsvinden.

Multitenant datacenters

Bij multitenant datacenters spelen voornamelijk sterke **agglomeratievoordelen**.

- **Groter connectiviteitsaanbod bij onderlinge nabijheid**. De mate waarin een gebruiker in staat is te koppelen met andere toepassingen of leveranciers. Nabijheid van andere datacenters maakt het gemakkelijker om connecties aan te bieden met andere datacenters (en daarmee de daar gelokaliseerde diensten), omdat het vele malen goedkoper is om binnen korte afstanden (tot 10km) verbindingen te leggen.[12] In deze zin spelen multi-tenant datacenters een rol als *peering hub.* Bij een grotere clustering is het ook voor hyperscalers wenselijk om aanwezig te zijn, zowel door zelf ruimte af te nemen binnen multitenants als door het beschikbaar stellen van *on-ramps*, aangezien zij hun diensten dan eenvoudiger aan een bredere selectie van afnemers kunnen aanbieden.
- Onderlinge nabijheid is van belang bij het leveren van diensten die afhankelijk zijn van lage latency en het toestaan van een hoge throughput. Dit fenomeen wordt beschreven als **data gravity**: Door met diensten dichter bij de data te zitten is het gemakkelijker om diensten te leveren die hier gebruik van maken. Data heeft daarin een grotere aantrekkingskracht omdat (grote hoeveelheden) data moeilijker te verplaatsen zijn dan toepassingen [26]. Hierin ligt ook een logische aantrekkingskracht van dienstenleveranciers naar locaties waar veel gegevens staan [27]. Gesprekspartners wezen op de 'stapeling van diensten' door bepaalde digitale diensten (zoals Booking.com en al haar onderliggende diensten voor betalingen, marketing, locatiebepaling, et cetera). Voor dergelijke dienstenaanbieders en data-toeleveranciers is de onderlinge afstand belangrijker dan de afstand tot de eindgebruiker, aangezien er meer (data-intensieve) communicatie plaatsvindt tussen de diensten dan tussen de aggregatiedienst en de eindgebruiker. In zijn totaliteit maakt dat de dienstverlening sneller.
- Een grote markt trekt **toeleveranciers** aan. Dit observeren gesprekspartners ook in het geval van Amsterdam als datacenter hub, aangezien hier zowel in de toeleverende als onderhoudssector veel partijen actief zijn voor bijvoorbeeld UPS'en, koelsystemen en 'ijzerwaar' zoals racks en kabelgoten. Met dienstverlening dichtbij en snel toegankelijk is het gemakkelijker om een datacenter draaiende te houden.
- Een sterke datacentermarkt geeft meer prikkels voor het ontwikkelen van hoogwaardig en gespecialiseerd aanbod. Dit staat toe dat cloudpartijen gemakkelijker specialistische oplossingen kunnen ontwikkelen en aanbieden. Hier is in grote mate sprake van een symmetrische relatie: de expertise in cloudpartijen en datacenterpartijen versterkt elkaar. Stakeholders geven aan dat Nederlandse cloudpartijen

[12] Zie bijvoorbeeld deze calculators om de maximale te overbruggen afstand (ook wel: power budget) tussen verschillende typen transmitter en recievers te berekenen, rekening houden met bijvoorbeeld glasvezeltypes en het aantal afsplitsingen (splices). [wwwapps.grassvalley.com] en [www.fiberoptics4sale.com].

hierdoor hoogwaardiger aanbod kunnen ontwikkelen dan partijen in andere landen en dat scherper geprijsd in de markt kunnen zetten.

Hyperscale datacenters

Hyperscale datacenters vervullen een andere rol dan multi-tenant datacenters. Hier zien wij, toegevoegd aan bovenstaande **agglomeratievoordelen** voor datacenters ook ruimte voor **schaalvoordelen.**

Hyperscale datacenters zitten op dit moment op twee locaties in Nederland: Middenmeer en Eemshaven. Dit zijn locaties in het buitengebied, waarbij **schaalvoordelen** mogelijk worden omdat daar de ruimte en toegang tot duurzame energie is om een groot datacenter met geconcentreerde reken -en opslagcapaciteit te realiseren. Los van deze eigen datacenters hebben hyperscalers ook een sterke aanwezigheid in de multitenant datacenter hubs, door daar serverruimte aan te bieden en on-ramps te realiseren naar hun *core*.

Hyperscalers kunnen hierin dus niet worden samengenomen in schaal- of agglomeratievoordelen met multitenant datacenters omdat ze zich op verschillende manieren tot elkaar verhouden. Enerzijds zijn hyperscale-eigenaren ook nog steeds **afnemer** van reken- en opslagcapaciteit bij multitenant datacenters, anderszijds zijn ze **aanbieder** van diensten aan de gebruikers van het datacenter (bijvoorbeeld voor hybride cloudoplossingen). Dit tweede kan onderdeel zijn van het connectiviteitsaanbod van het multitenant datacenter. Wel kan gezegd worden dat ze elkaars aanwezigheid versterken.

Datacenterhubs en internationale concurrentie

In veel besprekingen van datacenters wordt de concurrentie tussen hubs aangehaald. Zo worden opkomende kleinere hubs als uitdaging voor Amsterdam benoemd. [17] Hierbij moet als kanttekening worden geplaatst dat groei van andere hubs niet noodzakelijk een substitutie is van groei in Nederland of Amsterdam.

Data gravity neemt overal ter wereld toe en hangt samen met GDP en handel. De verwachting is dat deze groei zich overal blijft doorzetten [28] [29]. Dit betekent dat wereldwijd een groei in dataopslag en datatransport zichtbaar is. Ook wordt er binnen Europa door toegenomen vraag ook een groei in Zuid- en Oost-Europa geobserveerd, die niet afdoet aan Nederland als hub [30]. Ontwikkeling van andere datacenterhubs kan ook een vraag bedienen die niet per se vervuld kan worden door Nederland. Marseille wordt bijvoorbeeld genoemd als opkomende hub, maar deze heeft Noord-Afrika als grote afzetmarkt. Dit vervangingseffect zal naar verwachting wel optreden als er meer hyperscalers van Microsoft en Google in West-Europa gerealiseerd worden, aangezien de Nederlandse datacenters nadrukkelijk voor heel West-Europa worden ingezet (niet alleen voor Nederland).

Ten slotte neemt ook datalokaliteit toe in veel grote bedrijven, wat zich uit in de wens om op meer locaties data te kunnen opslaan. Dit wordt bijvoorbeeld gedreven door regelgeving op het vlak van privacy [31].

Het is met deze factoren logisch dat datacenters meer verspreid raken en zich dus meer lokale hubs ontwikkelen. De samenhang met GDP geeft aan dat er met economische ontwikkeling en vermoedelijk een verhoogde digitaliseringsgraad er meer vraag ontstaat naar lokale en regionale dataopslag -en transport. Gekoppeld met toegenomen lokalisatie voegt dit voor internationale toepassingen wel uitdagingen toe in het managen en beschikbaar kunnen maken van gegevens wereldwijd [31]. Tegelijkertijd stellen we ook vast dat de allergrootste markten (FLAP-D) nu een dermate grote hubfunctie vervullen dat ze, met het oog op de eerder beschreven netwerkeffecten, waarschijnlijk hun koppositie niet snel zullen verliezen aan nieuwe opkomende locaties.

Hiermee is niet gezegd dat competitie tussen hubs niet plaatsvindt, maar de ontwikkeling van verschillende hubs moet in deze veranderende context worden gezien.

4.2.5 IX'en en peering

IX en *peering* staan verbinding tussen verschillende netwerken toe, maar doen dat wel op verschillende manieren. IX'en fungeren als centraal koppelpunt, *peering* vindt vaak plaats binnen datacenters. Wij zien hier de volgende interacties:

- Tussen IX en peering en internationale netwerken zitten **agglomeratievoordelen**, omdat ze toestaan om betrouwbaar de verbinding te leggen met internationale netwerken. Dit effect is directioneel: betere internationale connectiviteit leidt eerder tot de ontwikkeling van IX en peering dan andersom. Dit kan geïllustreerd worden door de NL-IX en AMS-IX te vergelijken met de BNIX (Belgian National Internet eXchange). Veel Belgische partijen hebben zich in Nederland gevestigd en zijn aangesloten bij de AMS-IX omdat dat internationaal meer verbindingen biedt. Zo kan een sterk peeringcluster dus ook tot meer vraag leiden, mits dat verplaatst kan worden naar het cluster.
- Met datacenters zien wij **agglomeratievoordelen** uit een symmetrische relatie, omdat hier een grote mate van overlap ligt. Veel peering vindt plaats binnen datacenters. Dit versterkt het connectiviteitsaanbod van datacenters en daarmee hun aantrekkelijkheid.
- Een IX heeft op technisch niveau de sterkste netwerkeffecten (**schaalvoordelen**): toename in het aantal aangesloten netwerken is een goede indicator voor de waarde van de netwerk (dichtheid groeit kwadratisch met elke nieuwe node n^2 (Metcalfe), de waarde mogelijk zelfs exponentieel (2^n)). Hier komt nog een extra laag aan verbondenheid door standaardisatie over de gebruikte protocollen, interoperabiliteit van apparatuur, service levels, prijspeil, et cetera.
- Cloudsconnectiviteitsdiensten worden steeds belangrijker met een grotere rol voor de cloud. Hierbij ligt er waarde in het hebben van een directe verbinding met de cloudprovider. Door deze verbinding buiten het open internet om te realiseren kunnen diensten met een lagere latency en hogere levenszekerheid worden gerealiseerd.
- Voor latency is het aantal hops cruciaal. IX'en en direct peering bieden daarin uitkomst ten opzichte van het inkopen van transit. Daarbij kan gekozen worden voor een langere route omdat dat op dat moment kostenefficiënt is.

Ook bij IX'en moet wel kritisch gekeken naar de opkomst van andere exchanges en daarmee de mate waarin er concurrentie bestaat tussen IX'en. Marseille is bijvoorbeeld in opkomst vanwege het eerder benoemde bedienen van de Noord-Afrikaanse markt (4.2.4). Met groei van de exchange daar wordt niet noodzakelijk potentieel weggenomen voor de Nederlandse exchanges. Een ander voorbeeld hier is de opkomst van de Braziliaanse internet exchange (IX.br), die als belangrijk verbindingspunt fungeert voor veel lokale ISP's. Vooralsnog zien we ook geen vervangingseffecten optreden tussen de andere grote Europese exchanges in Duitsland en het VK; ze laten allemaal een sterke groei in het afgehandelde verkeer zien.

Ook speelt tussen IX en peering de optie van substitutie van verkeersstromen, al blijven de partijen die onderling peeren wel ook gewoon aangesloten op de exchange. De IX'en ervaren dit onderling ook niet als concurrentie. Hyperscalers bieden verspreid over het land lokale *on-ramps* om direct te kunnen verbinden met hun netwerken. Partijen die grote volumes content leveren (bijvoorbeeld streamingdiensten) kunnen via direct peering met de corenetwerken een hoge (en goedkopere) *throughput* realiseren.

Door enerzijds de globale groei in IX-verkeer en anderzijds de verschuiving naar *direct peering* is het voor ons niet goed mogelijk om uitspraken te doen over concurrentie tussen

peeringhubs. Wij observeren een stijgend IX-verkeer, maar kunnen die toename niet uitsplitsen in toename van vraag, verplaatsing tussen IX'en en substitutie met *direct peering*.

4.2.6 Hosting en cloud

Hosting en cloud vormen een DI-component met veel interacties op technisch niveau. De dienstverlening vindt plaats vanuit datacenters en is afhankelijk van connectiviteit, wat binnen deze drie veel **agglomeratievoordelen** biedt.

- Met datacenters loopt er een interactie op het vlak van specialisatie van dienstverlening. Uit gesprekken komt naar voren dat Nederland een sterke positie heeft op het vlak van gespecialiseerde hosting- en clouddienstverlening, als gevolg van een sterke en competitieve markt. Een duidelijk voorbeeld van agglomeratie. Gevolg is dat Nederlandse bedrijven hoogwaardige cloudoplossingen kunnen leveren voor complexe vraagstukken, bijvoorbeeld voor ziekenhuizen. Deze partijen profiteren op hun beurt van een breed aanbod in de datacentersector, wat goede dienstverlening voor een scherpe prijs oplevert. Hierin versterken de Nederlandse datacentermarkt en markt voor hosting en clouddiensten elkaar.
- De bovengenoemde ontwikkeling van **gespecialiseerde dienstverlening** is ook deels te wijten aan de sterke markt voor clouddienstverlening, met specialisatie is het mogelijk om je hierin te onderscheiden. Hierbij gaat het maar in beperkte mate om een technische afhankelijkheid. De innovatie die de diensten mogelijk maakt wordt meer gestuwd door concurrentie binnen de bestaande markt. Deze concurrentie dwingt tot innovatie en leidt op die manier tot hoogwaardige productiviteit.
- Ook speelt **data gravity** een rol tussen hosting, cloud, platformen en datacenters. Dienstverlening die afhankelijk is van het data is het meest efficiënt wanneer deze dichter bij de data gelokaliseerd is voor de connectie van diensten. Daarbij is de afstand tot de data zwaarwegender dan de afstand tot de consument. Een sterke datacentermarkt kan op die manier ook diensten rondom deze data aantrekken.
- Grote platforms als Disney kiezen Nederland uit als **testlocatie** voor CDN's, omdat hosten gemakkelijk is en er sprake is van een afzetmarkt die goed verbonden, digitaal vaardig en groot genoeg is. Gesprekspartners geven aan dat het verschuiven van deze functionaliteit naar andere landen een eerste indicator zou kunnen zijn voor het afkalven van de concurrentiepositie van Nederland op digitaal vlak; dit hebben wij in onze verkenning echter nog niet waargenomen.

4.3 Bredere observaties over de digitale hub

In de gesprekken die wij met de verschillende vertegenwoordigers van de DI-onderdelen hebben gevoerd, is een aantal bredere interactie-effecten die binnen deze smalle benadering van de digitale hub (binnen de DI) aan bod gekomen. Een aantal van met name de **zachtere factoren** waren niet direct in onze interactiematrix te vangen. Het zijn meer meta-observaties van geïnterviewden over de verwachte ontwikkelingen op het gebied van DI of de wijze waarop de betrokken partijen acteren.

- Door **virtualisatie** doet de geografische locatie er (in sommige gevallen) minder toe: tijdelijke capaciteit voor bijvoorbeeld grote simulaties is niet tijdskritisch en wordt naar behoefte op- en afgeschaald. Daarmee zou het belang van nabijheid in de toekomst minder kunnen gaan worden voor bepaalde toepassingen.

- **Edge computing** wordt volgens de gesprekspartners in Nederland een minder belangrijke ontwikkeling dan in grotere landen, met name doordat de afstanden kort zijn en daardoor veel vanuit de bestaande datacenters mogelijk is. Ze hebben

allemaal goede verbindingen met de AMS-IX en andere datacenters met peering mogelijkheden naar de grote content- en dienstenleveranciers. Microsoft staat bijvoorbeeld naast Middenmeer ook in veel colocatiedatacenters. Bij edge computing is met name de vraag wat als core en wat als edge aangeduid wordt, dat verschilt aanzienlijk per type dienst en type aanbieder.

- Door inzet van **mensen** kan een geografische beperking optreden waardoor het aantrekkelijk is voor partijen om dicht bij elkaar te blijven opereren. Denk hierbij aan **24/7 dienstverlening** ; monitoring en remote support is voor veel actieve onderdelen tegenwoordig goed op te doen (zoals op de mobile core en serverbeheer), maar voor fysieke handelingen is fysieke nabijheid nodig. Hierdoor is de ***mean time to repair*** op actieve laag is zeer laag bij bijvoorbeeld datacenters en apparatuur in zeekabels-aanlandstations. Onderhoud aan de passieve delen van zeekabels en bijvoorbeeld satelliet duurt daarentegen erg lang.

- Het is in Nederland **cultureel makkelijker om de samenwerking op te zoeken** met branchegenoten. Als voorbeeld werd hiervoor de nationale wasstraat (NaWas) voor DDoS-bestrijding genoemd. Een soortgelijke samenwerking, die leidt tot een goedkope oplossing, wordt in andere landen minder waarschijnlijk geacht. Publiek-private samenwerkingen zijn sterk in Nederland.

- Er is een aantal belangrijke ontwikkelingen rondom **Europese wetgeving** die impact zal gaan hebben op de sector, namelijk de Digital Services Act (DSA) en Digital Markets Act (DMA), de Data Governance Act (DGA), de Data Act (DA) en de AI Act (AIA). Veel van deze acts hebben veelal betrekking op de hogere lagen van het digitale ecosysteem (digitale platformen en diensten) en vallen daarmee ook buiten onze scope. Toch geven gesprekspartners aan dat zij zich zorgen maken over de uitwerking, met name over de onzekerheid hoe de wetgeving hen gaat raken.

- Actief stimuleren van innovatie binnen **kennisinstellingen en publiek-private samenwerking** rond nieuwe technologie kan een belangrijke rol spelen in het aantrekken van economische activiteit, zowel binnen DI als in de omliggende ecosystemen. Hierbij wordt bijvoorbeeld de investeringen in quantumtechnologie (Quantum Delta, UTwente, Science Park en het Groeifonds) genoemd. Deze investeringen versterken **kennisclusters** en kan daarmee zowel internationaal talent aantrekken als economische activiteit genereren.

- Voor innovatie in alle lagen van de DI en in de aanpalende economische sectoren spelen uitdagingen in de **financieringsmogelijkheden**. Veel van kansrijke startups hebben digitale business modellen. Op dit moment is er voor de startupfase voldoende financiering beschikbaar, onder andere vanuit de overheid en durfinvesteerders. Voor scale-ups is die financiering er vaak niet. Daarbij bestaat het risico dat deze partijen worden opgekocht of verhuizen naar bijvoorbeeld de VS omdat het daar makkelijker is om financiering te krijgen.

- Binnen DI gelden dezelfde overwegingen rondom **vestigings- en investeringsklimaat** zoals ze in elke economische sector gelden. Hoewel er met regelmaat zorgen worden geuit over de vermeende afkalving van dit klimaat, kwamen wij recentelijk tot de volgende (veelal positieve) inzichten [32]:
    - **Infrastructuur** (1e positie). Op alle dimensies (water, weg, spoor, lucht, stroom) zeer goede score.

- Met **instituties** (2e) bedoelen we het raamwerk waar binnen partijen interacteren. Vooral het uitstekende functioneren van de publieke sector valt op. Marktwerking en handel (3e). Goede positie, maar de verschillen tussen EU-landen zijn relatief klein.
- **Bedrijfsdynamiek** (3e) goede, maar vooral heel stabiele positie.
- **Onderwijs en kennisinfrastructuur** (resp. 3e en 5e). Bij onderwijs hebben we een goede positie. Vooral Scandinavische landen scoren beter. De (PISA-)scores van de koplopers (en Nederland in het bijzonder) dalen echter snel. Bij de kennisinfrastructuur leggen we het af tegen grotere landen.
- **Gezondheid en kwaliteit van leven** (4e). Wederom scoren Scandinavische landen hoger.
- **Arbeidsmarkt** (5e) kent een gemiddelde positie en een licht positieve trend over de laatste jaren.
- **Macro-economie en fiscaliteit** (7e). Score onder het gemiddelde. Scandinavische landen, Duitsland en Zwitserland doen het beter. Denemarken gaat van gemiddeld naar beste.
- **Financiële markten** (7e). We gaan van een redelijke score in 2010, naar een zeer slechte score en veren weer terug naar een gemiddelde score in 2020. Uit de data komt naar voren dat (1) de toegang tot venture capital en (2) de perceptie van de deugdelijkheid van onze bankensector in Nederland de dip veroorzaakte.

- De **Nederlandse en Europese schaalvoordelen** zijn veel beperkter dan in de VS, China en Spaanstalige landen. Dit zit in taal, cultuur, wet- en regelgeving, consumentengedrag en distributie- en marketingkanalen.

- Bij zeekabels spelen zorgen omtrent **strategische autonomie**. Internationale verbindingen hebben een aantal kwetsbaarheden.
  - Verbindingen zijn **fysiek kwetsbaar** voor kwaadwillende statelijke actoren. De Kamer uitte haar zorgen zich hierover al in 2021. [33] Eerder dit jaar werd dit geïllustreerd door schade aan een gas -en telecomverbinding tussen Finland en Estland. [34] Met de toename van dergelijke bedreigingen zijn beveiliging en redundantie van netwerken belangrijk. Zeekabels hebben daarbij ook minder risico op uitval door bijvoorbeeld graafschade (*mean time between failure*[13]), maar wel weer veel hogere hersteltijden (*mean time to repair*[14]).
  - Wanneer sprake is van verbindingen die via andere landen lopen, bijvoorbeeld verbinding via Londen of Denemarken naar de VS, schept dat een **afhankelijkheid** van de landen waar deze verbindingen langs komen. Op de korte termijn is dat geen zorg, maar met de toegenomen – en nog steeds toenemende – rol van connectiviteit in de economie en onze levens in bredere zin bestaat de angst dat het een geopolitieke aangelegenheid wordt. De zorg is dan dat een ander invloed kan uitoefenen op de connectiviteit van Nederland. Dit is een onderwerp waarin Europese samenwerking belangrijk is.
  - Gesprekspartners geven aan dat hiervoor wel een actief beleid nodig is. Zeekabels worden om verschillende redenen op andere plekken gelegd. Hierbij worden twee belangrijke redenen genoemd:

[13] Zie voor meer uitleg over deze begrippen: [www.ibm.com]

[14] Ibid

Beleid waarbij bijvoorbeeld aanlanding wordt gefaciliteerd. Andere landen voeren hierop actiever beleid dan Nederland. Zo zijn bijvoorbeeld Noorwegen, Denemarken en Portugal zichtbaarder in het internationale netwerk rondom de aanleg van zeekabels.
Veiligere kabels op andere locaties. Voor bijvoorbeeld de Baskische kust is de zee dieper dan de Noordzee. De kabels kunnen daar kort voor de kust omhoog komen en hebben daarmee een veel kleiner risico op schade. Kabels in de Noordzee daarentegen moeten worden ingegraven. Daarmee zijn kabels elders goedkoper en betrouwbaarder.

4.4 Conclusies

Met onze gestructureerde analyse van de interactie-effecten hebben wij laten zien dat er binnen DI **duidelijk** sprake is van schaal-, scope- en agglomeratie-voordelen. Het beeld is dat de sterkste agglomeratie-effecten met name in de hogere lagen van het model optreden en dus beperktere mate in de aansluit- en core-netwerken.

Met de analyse hebben we inzicht kunnen geven in wat de **interactiemechanismes** zijn die ervoor zorgen dat het 'vliegwiel' achter de hoogwaardige Nederlandse DI-dienstverlening op gang is gekomen en nog steeds blijft draaien. Veel van de sterktes en afhankelijkheden zitten ook in **niet-technische aspecten**: de toegang tot kennis en ervaring, het gemak van zakendoen in Nederland, de digitale vaardigheden van de afnemers, et cetera.

Nu we goed in beeld hebben wat de huidige footprint van de DI en de onderliggende interactiemechanismes zijn, resteert er nog een belangrijke laatste stap om het belang van de DI beter te doorgronden: de wijze waarop er **toegevoegde waarde wordt gecreëerd *met* DI** door de andere maatschappelijke en economische sectoren. Dit is de stap waarin we uit de clusteranalyse van de DI stappen en DI weer 'gewoon' als **randvoorwaarde** voor andere clusters en ecosystemen zullen behandelen. Het aanleggen en exploiteren van een infrastructuur is immers nooit een doel op zichzelf.

5 Hoe werkt de DI door in rest van de Nederlandse economie?

Kernpunten van dit hoofdstuk

Om de doorwerking van DI in de bredere (digitale) economie te doorgronden, gaan we in dit hoofdstuk [1] in op de **economische waarde** die er **in en met** DI wordt gerealiseerd, [2] kijken naar de **vraag** die vanuit de verschillende (groei)sectoren bestaat en [3] reflecteren we op de **exporteerbare waarde**.

De **economische waarde** van DI wordt door veel verschillende onderzoeken als **(zeer) hoog** becijferd. De waarde komt enerzijds voort vanuit de toegevoegde waarde die binnen de sector zelf wordt gerealiseerd en anderzijds door de verhoging van de factorproductiviteit door het toepassen van DI in de bredere (digitale) economie.

In de vraag naar vanuit de (sterk) gedigitaliseerde sectoren zien wij een duidelijk onderscheid tussen vraag naar **generieke** DI (de grootste vraag) en een selectie van sectoren waar aanvullend een vraag naar **specifieke** DI bestaat. We hebben een aantal voorbeelden in kaart gebracht van zowel digitaal-intensieve als minder digitaal-intensieve sectoren, waarbij de vraag vanuit beide kanten zowel generiek of juist heel specifiek bleek te zijn.

Hoewel bij die laatste partijen de vraag naar DI bijzonder is, wordt in zowel onze analyses als de gesprekken die wij hebben gevoerd, DI vooral gezien al hele **belangrijke hygiënefactor**. Dit is vooral het gevolg van het feit dat de digitale connectiviteit in Nederland excellent is (zie eerder hoofdstukken). Zowel binnen de DI als de bredere digitale economie wordt niet de (digitale) technologie en infrastructuur, maar **menselijk kapitaal** als de belangrijkste beperkende factor genoemd.

5.1 Digitale infrastructuur als randvoorwaarde voor andere sectoren

De hele maatschappij is in snel tempo en nog steeds in toenemende mate afhankelijk geworden van de uitstekende digitale infrastructuur. De grootste waarde van DI slaat niet binnen de sector zelf neer, maar komt juist voort uit het gebruik door de rest van de Nederlandse economie en ten behoeve van allerlei maatschappelijke opgaven. Deze baten zijn (extreem) groot en erg positief. **Maar hoe komt deze waardecreatie tot stand?** Om dat te bepalen, kijken we in 5.2 naar reeds beschikbare cijfers en gaan in de daaropvolgende paragraven in op de wijze waarop wij denken dat deze waarde tot stand komt binnen de voor Nederland relevante sectoren.

Hoofdstuk 4 kijkt naar de digitale infrastructuur op zichzelf. In dit hoofdstuk ligt nadruk op de waarde van DI als **randvoorwaarde voor andere sectoren** in de Nederlandse economie. Digitale infrastructuur is niet de enige factor die meespeelt als input of randvoorwaarde voor het vormen en welslagen van een ecosysteem. In de voorbeelden in 5.3.2 komt met de afhankelijkheid van DI ook de **relatieve importantie** ervan naar voren.

5.2 Schattingen waarde van digitale infrastructuur voor de Nederlandse economie

Er is inmiddels een variatie aan studies waarin wordt berekend hoe groot de toegevoegde waarde als gevolg van digitalisering en het gebruik van digitale infrastructuur is. Elk van deze onderzoeken kent haar eigen afbakeningen van de sector en aanpak hoe men de toegevoegde waarde toeschrijft. Desondanks komen alle onderzoeken tot een **zeer grote waardecreatie binnen de sector zelf en door het gebruik van DI in andere sectoren**.

In de studies wordt de waarde van DI expliciet of impliciet verklaart door het vergoten van de **factorproductiviteit** – DI helpt om met arbeid en kapitaal toegevoegde waarde te creëren. Ook **innovatie met ICT** en DI leidt tot nieuwe producten en diensten in allerlei sectoren. Verder zorgt de DI voor directe en indirecte werkgelegenheid in zowel DI zelf als in het gebruik en toepassen van DI. Tegelijkertijd zorgt de DI en de digitale toepassingen er ook juist voor dat de arbeidsvraag daalt. Ook binnen de DI zien we al jaren een (sterk) dalende trend: het aantal werknemers bij de telco's (zoals KPN) daalt sterk als gevolg van automatisering en uitbesteding, wat in tijden van arbeidsmarktkrapte overigens geen probleem hoeft te zijn.

Tabel 4. Scope van de waardebepalingen

Auteur (jaar)	Scope	Waarde
Dialogic (2012)	ICT-sector (SBI 62)	25% van groei in BBP
CBS (2023	Omvang digitale Economie aan de hand van OESO aanbod- en gebruikstabellen voor de digitale economie	9,2% van BBP
METISfiles (2019)	Directe en indirecte toegevoegde waarde van de digitale sector (onbekende selectie SBI-klassen en alleen bepaalde bedrijfsomvang)	Direct €3,1 mrd (21,8k werk. pers.) Indirect €1,7 mrd (16,9k werk. pers.)) Geïnduceerd €0,6 mrd (5,6k werk. pers.)
Ecorys (2023)	Directe en indirect toegevoegde waarde	2,4% van BBP, oftewel €24 miljard en 202.500 banen

Tabel 4 geeft een samenvatting van de auteurs, scope en omvang van de verschillende berekeningen. Wij stellen vast dat er in de scope en afbakening aanzienlijke verschillen zitten, waardoor ook de waarden sterk uiteen lopen. De keuzes lijken vooral af te hangen van het verhaal dat elk van de onderzoekers wil vertellen met de uitkomsten van de analyses.

Zo berekenden **Dialogic** in al 2012 dat een kwart van de groei in het Nederlandse BBP aan de ICT-sector toegeschreven kon worden. [35] In de onderliggende berekeningen hielden wij rekening met zowel kapitaalinvesteringen in ICT als de groei in productiviteit door het geval van ICT. Deze studie betrof vooral een inventarisatie van de toen beschikbare inzichten om de mechanismes achter de groei in productiviteit bloot te leggen.

Het **CBS** berekende recent dat de digitale economie in 2019 goed was voor 9,2 procent van de totale bruto toegevoegde waarde. Digitaal faciliterende bedrijfstakken vormen met 64 procent het grootste deel uit van de toegevoegde waarde van de digitale economie. Onder deze digitale bedrijfstak vallen uiteenlopende activiteiten, zoals de productie van computerchips (industrie), computer- programmeeractiviteiten (diensten), en de groothandel in computers (handel). [36] CBS gebruikte hierbij voor het eerst de in 2019 beschikbaar gekomen analysemethode van de OESO, waardoor het met name een waardevolle maatstaf is voor internationale vergelijkingen.

The METISfiles berekende in verschillende studies de omvang van de Digitale Economie. Zij deden dit voor de hele Nederlandse economie en voor verschillende specifieke regio's. In 2019 kwamen zij, in opdracht van de DI-sector, met hun aanpak op een totale toegevoegde waarde van 4,8 miljard euro en 38.700 werkzame personen. [37] Dit betrof een berekening van de directe en indirecte toegevoegde waarde. Aanvullend spreken zij nog over een geïnduceerd effect van €0,6 miljard en 5.600 werkzame personen. METISfiles maakt in haar studies ook nog de stap naar de bredere uitstralingseffecten (voorwaarts indirect) in de rest van de economie. Dit doet men aan de hand van digitale werkgelegenheid die binnen alle andere sectoren actief is en daar toegevoegde waarde creëert. METISfiles komt tot een totale

omvang van 'de digitale economie' van €245 miljard (2 miljoen werkzame personen). Zij schrijven 34% hiervan toe aan het 'digitaal fundament', wat dus goed is voor €84 miljard en 950.00 werkzame personen.

Het meest recente en gerichte werk op het vlak van waardebepaling van DI komt van **Ecorys**. Dit onderzoek werd uitgevoerd in het kader van dezelfde reeks EZK-onderzoeken als waar onze verkenning deel van uitmaakt. De kern van hun bevindingen luidt als volgt:

> *De bedrijven die onderdeel zijn van de sector digitale infrastructuur, zoals afgebakend in dit onderzoek, dragen grofweg €24 miljard aan toegevoegde waarde bij aan het Nederlandse BBP in 2021 (Tabel 6.1). Dit is ongeveer 2,4% van het Nederlandse BBP in 2021 en beperkt zich tot de toegevoegde waarde verkregen door middel van het realiseren van de digitale infrastructuur. Het gebruik van de digitale economie in Nederland is hierin nog niet meegenomen. In totaal zorgt de sector digitale infrastructuur voor een werkgelegenheid van 202,5 duizend banen in Nederland in 2021.* [38]

Ecorys komt dus tot een flink hogere toegevoegde waarde en werkgelegenheid dan The METISfiles. Aangezien the METISfiles geen overzicht van de gehanteerde SBI-klassen heeft opgenomen in haar publicatie, kunnen niet goed analyseren waar deze verschillen vandaar komen. De onderzoekers van Ecorys trekken verder in hun analyses een duidelijk lijn qua waardebepaling: binnen de DI wordt de directe en indirecte effecten berekend, daarbuiten wordt de waardecreatie met name aan de hand van casuïstiek en ordegroottes behandeld. Dit is niet verwonderlijk, aangezien het toeschrijven (claimen) van een aandeel toegevoegde waarde in een andere sector om een flinke dosis aannames vraagt.

5.3 DI-vraag vanuit de andere economische sectoren

Dit onderzoek heeft, voortbouwend op het werk van Ecorys, ten doel om de wijzen waarop digitale infrastructuur waarde toevoegt aan de Nederlandse economie en de kansen die het in de toekomst kan bieden in kaart te brengen. Hiervoor nemen we een drietal stappen:

1. We selecteren de **belangrijkste economische sectoren** op grond van **digitale intensiteit**. Hiervoor gebruiken we gegevens van het CBS (ICT-gebruik bij bedrijven [39]), die we valideren met werk van theMETISfiles [40]. We scheiden hierin sectoren met hoge digitale intensiteit en sectoren met lage digitale intensiteit.

2. Deze sectoren leggen we langs de **onderzoeks- en innovatie-ecosystemen** [41], een lijst van 56 ecosystemen waarbinnen in Nederland sterk geïnnoveerd wordt. Hoewel digitale technologie in veel van deze ecosystemen een rol speelt zijn de sectoren waarbinnen zij opereren niet altijd digitaal intensief. Deze ecosystemen zijn concrete toepassingsgebieden en kunnen derhalve goed dienen om de vraag naar DI te illustreren.

3. Voor **een selectie van relevante voorbeelden** (hoge en lage digitale intensiteit x generieke en specifieke DI-vraag van innovatieve technologie) lichten we kort de DI-vraag uit om te laten zien hoe de DI zich op dit moment tot de sectoren verhoudt en welke kansen DI kan bieden naar de toekomst toe.

5.3.1 Welke digitaal-intensieve sectoren zijn er in Nederland?

Om de DI-vraag van belangrijke sectoren in kaart te brengen zoomen we in op de digitaal intensievere sectoren in de Nederlandse economie. Hiervoor bestaan verschillende methoden.

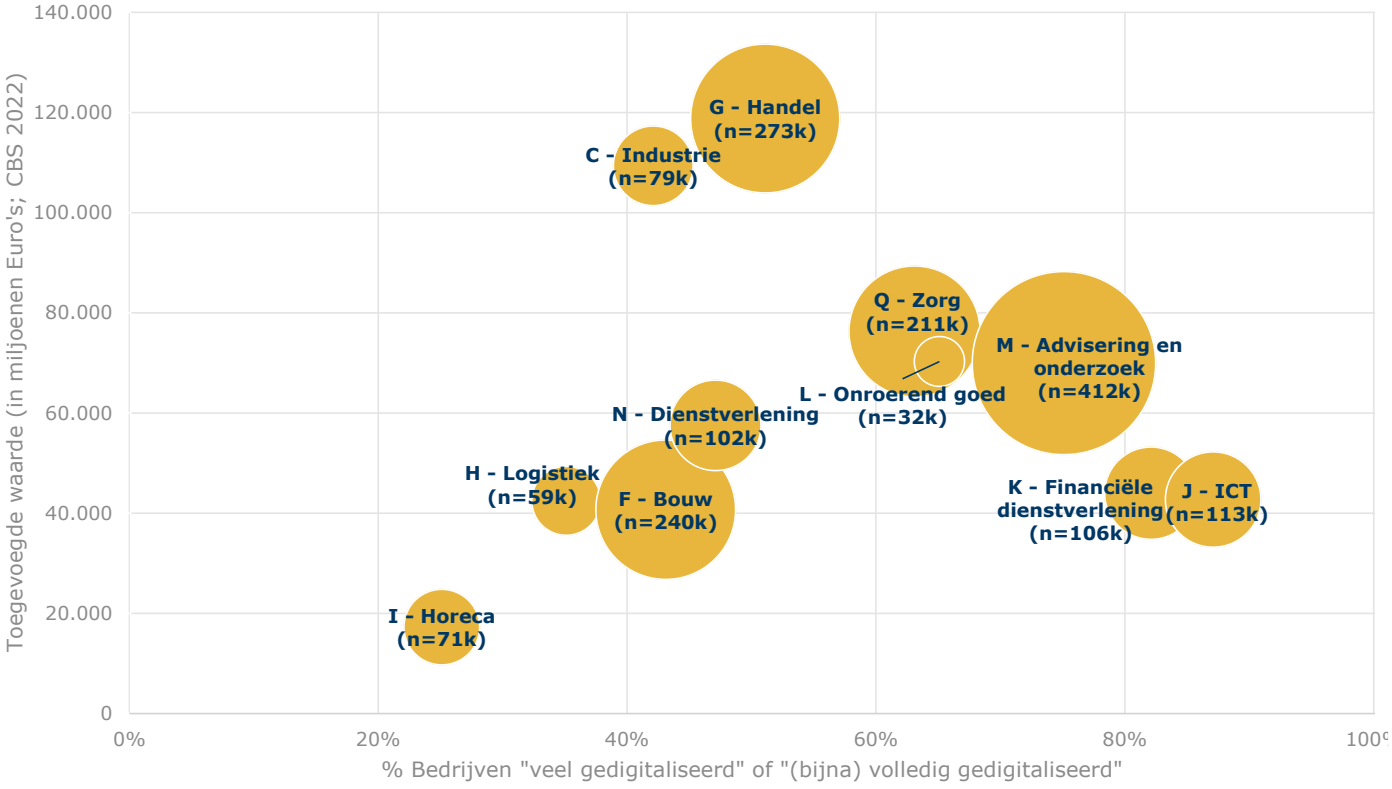
Gangbaar hierin is de **Digital Intensity Index** van Eurostat [42], dat bedrijven scoort op de inzet van twaalf digitale technologieën. Het aantal technologieën dat een bedrijf inzet is de score op de index. Hierbij is bijvoorbeeld artificial intelligence zo'n technologie (en daarmee één punt op de index waard), maar worden er ook een punt gegeven voor aanwezigheid op één sociaal medium en een punt voor aanwezigheid op twee of meer. Niet alle twaalf de technologieën zijn voor deze studie even relevant. Veel ervan zijn gangbaar en het onderscheid is in de index niet meer zichtbaar.

Om dit te ondervangen gebruiken we twee indicatoren:

1. De zelfgerapporteerde mate van digitalisatie; en
2. De inzet van enkele losse technologieën (ERP-software, Artificial Intelligence en robotica).

De zelfgerapporteerde mate van digitalisatie geeft een breed sectorbeeld, de technologieën staan toe om verder in te zoomen op de wijze waarop de sectoren gedigitaliseerd zijn. Beide indicatoren zijn afkomstig van het Centraal Bureau voor Statistiek [39]. Eerst kijken we hieronder naar het **brede sectorbeeld**, daarna zoomen we in op de **inzet van technologieën**.

Figuur 10 laat het beeld zien per sector. Wat opvalt is dat veel bedrijven in Nederland zich inschatten als in hoge mate gedigitaliseerd. Er zit echter nog wel enige differentiatie in. De gegevens waarop deze figuur gebaseerd is zijn ook terug te vinden in Tabel 5.



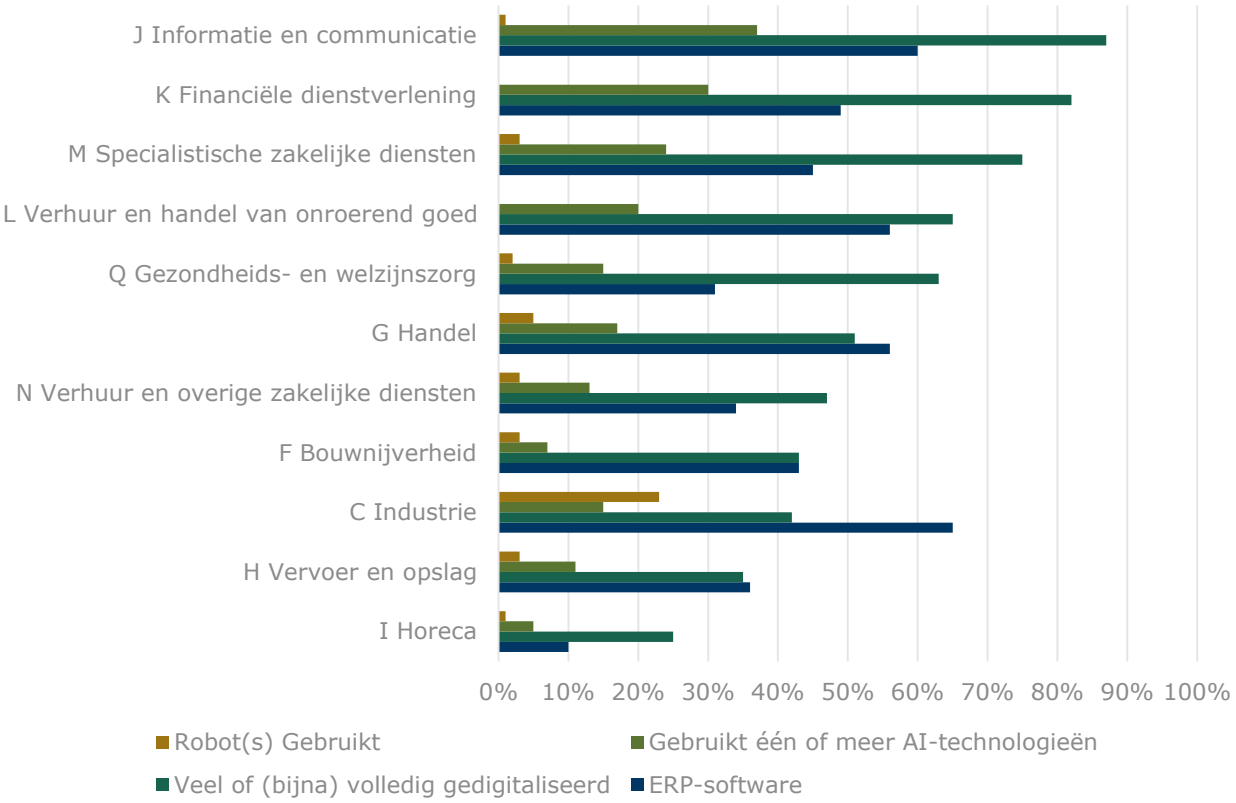
Figuur 10. SBI-sectoren met hun zelfgerapporteerde mate van digitalisatie. Bolgroottes zijn bepaald aan de hand van het aantal actieve organisaties binnen deze sector.[15]

[15] Sectorbenamingen zijn ingeperkt voor de leesbaarheid van deze figuur. Zie Bijlage 3 voor de volledige benamingen of de SBI-pagina van het CBS [https://sbi.cbs.nl/] voor onderliggende subsectoren.

Bij deze gegevens moet een belangrijke kanttekening worden geplaatst. De cijfers zijn gebaseerd op een survey en worden op **bedrijfsniveau** opgehaald. Binnen de sectoren bestaat een grote diversiteit, omdat bijvoorbeeld zelfstandigen zonder personeel hier ook onder vallen. Hierdoor kunnen de percentages lager uitvallen dan verwacht op basis van kennis van de ontwikkelingen in de sector.

We zien bijvoorbeeld dat in meer 'traditionele' sectoren zoals logistiek of industrie een lager percentage van de bedrijven zichzelf beschouwt als digitaal intensief. Tegelijkertijd spelen digitalisering en connectiviteit juist in dit type sectoren een grote rol, waarbij ook veel mogelijkheden liggen voor toekomstige innovatie.

Figuur 11 laat de inzet van Enterprise Resource Planning (ERP) software, robotica en *artificial intelligence* zien per sector. Dit geeft meer invulling dan de zelfgerapporteerde mate van digitalisatie op zichzelf. Hierin valt bijvoorbeeld juist de industrie op die, hoewel in mindere mate zelfgerapporteerd digitaal, de hoogste inzet van robotica en ERP-software kent. Hierbij vertekent dus wellicht de digitale intensiteit uit een *digital intensity index* of uit zelfrapportage.



Figuur 11. Zelfgerapporteerde mate van digitalisatie en inzet technologieën, bij percentage van bedrijven in een sector. Gesorteerde op het percentage van bedrijven dat zichzelf als in hoge mate gedigitaliseerd beschouwd.

Als we de zelf gerapporteerde mate van digitalisatie vergelijken met de digitale werkgelegenheid in sectoren zien we dat de vier sectoren die zichzelf als in hogere mate gedigitaliseerd beschouwen ook de hoogste digitale werkgelegenheid hebben. De samenhang is echter niet zo sterk: Op een vijfde plek staat de zorg, met slechts 17% digitale werkgelegenheid (op horeca en bouw na de laagste digitale werkgelegenheid).

Tabel 5. Mate van digitalisatie, digitale werkgelegenheid en economische indicatoren per sector. Dikgedrukte sectoren worden voor deze studie beschouwd als digitaal intensief.

Sector	Veel of (bijna) volledig gedigitaliseerd	Toegevoegde waarde (miljoen euro's)	Aantal bedrijven (x1.000)	Digitale werkgelegenheid[1]
J Informatie en communicatie	87%	42.729	113	87%
K Financiële dienstverlening	82%	44.018	106	92%
M Specialistische zakelijke diensten	75%	69.980	412	55%
L Verhuur en handel van onroerend goed	65%	70.313	32	69%
Q Gezondheids- en welzijnszorg	63%	76.325	211	17%
G Handel	51%	118.843	273	23%
N Verhuur en overige zakelijke diensten	47%	57.570	102	29%
F Bouwnijverheid	43%	40.705	240	16%
C Industrie	42%	109.386	79	20%
H Vervoer en opslag	35%	42.495	59	34%
I Horeca	25%	17.272	71	13%

Noot:
[1] Digitale werkgelegenheid is op basis van theMETISfiles [40]. Waar zij refereren aan digitale intensiteit operationaliseren ze met de digitale werkgelegenheid in een sector. Om verwarring te voorkomen is de kop hier dus digitale werkgelegenheid.

Voor deze studie beschouwen wij de sectoren J (ICT en media), K (financiële dienstverlening), M (onderzoek en advies) en L (onroerend goed) als **digitaal intensief**, omdat zij zowel de hoogste mate van digitalisatie hebben als de hoogste digitale werkgelegenheid. Voor deze distinctie hebben we de keuze gemaakt op de primaire waardetoevoeging**,** die in de vier geselecteerde sectoren in grote mate digitaal is. Hiermee is niet gesteld dat daar in andere sectoren geen sprake van is, voorbeelden daarvan komen in sectie 5.3.2 ook aan bod. Er valt bijvoorbeeld een casus te maken voor industrie (C) als digitaal intensieve sector, aangezien we hier een hoge inzet van ERP-software en robotica vast hebben gesteld (Figuur 11).

Voor veel sectoren geldt dat zij voor het creëren van hun toegevoegde waarde in toenemende mate afhankelijk zijn van hoogwaardige digitale infrastructuur. Het vraagstuk voor deze studie is echter geweest wat de **mate** is waarin deze bedrijven afhankelijk zijn van DI en daarbij of deze infrastructuur van **goede of zelfs uitmuntende kwaliteit** moet zijn. Op basis van het materiaal en de gekozen aanpak binnen deze studie, zijn wij niet in staat om dergelijke uitspraken goed onderbouwd te doen.

Gesprekspartners bevestigden uiteraard het belang van de hoogwaardige infrastructuur voor al hun afzetgebieden. Onder andere de goede **reputatie** van Nederland als digitaal gidsland (m.n. voor testen) de **hoge mate van digitalisering** bij zowel bedrijven als burgers wordt hier als duidelijke uiting van deze behoefte gezien, maar de causaliteit was beperkt aantoonbaar. Nadat de eerste ontwikkelingen rondom het internet vanuit Amsterdam om gang is gekomen, is er door de jaren heen een **ecosysteem** van technologie, human capital, onderwijsaanbod financiële middelen, beleid, wetgeving en reputatie gegroeid en bestendigd, daar zijn partijen het uitgesproken over eens met elkaar.

Om de **DI-behoefte** vanuit specifieke (deel)sectoren toch beter te kunnen doorgronden, gaan wij in de komende paragraaf in op de groeikansen voor Nederland.

5.3.2 Waar liggen groeikansen voor Nederland?

Om tot **concrete voorbeelden** te komen van hoe de vraag naar digitale connectiviteit speelt in verschillende sectoren hebben we gebruik gemaakt van O&I-ecosystemen. In Bijlage 4 staat een overzicht hiervan met daaraan gekoppeld de NACE sectorclassificaties. Ecosystemen behorend bij de hierboven genoemde sectoren waarbij we hoge vraag naar digitale connectiviteit verwachten hebben we daarmee genomen als digitaal intensief. Op basis daarvan komen we tot de voorbeelden van innovatieve sectoren in Tabel 6.

Hierin maken wij onderscheid in vraag naar generieke DI en vraag naar specifieke DI. Hiermee kunnen wij de vraag namelijk gedetailleerder duiden. Onder generieke DI wordt digitale infrastructuur verstaan die overal tegen vaste en betaalbare prijs gerealiseerd kan worden. Denk hier bijvoorbeeld aan connectiviteitsdiensten (standaard vaste of mobiele breedbandtoegang) of aan schaalbare clouddiensten (standaard hostingdiensten). Specifieke DI is (nog) niet overal realiseerbaar of alleen tegen (zeer) hoge prijs. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een dedicated landelijk of regio-dekkend mobiel netwerk voor missie- of bedrijfskritische toepassingen of vraag naar eigen zeekabelcapaciteit. Toegang tot dergelijke oplossingen is voor sommige vormen van bedrijvigheid een randvoorwaarde.

Tabel 6. Sectoren gerangschikt naar digitale intensiteit en DI-vraag. Dikgedrukte cases worden hierna verder uitgelicht.

	Hoge digitale intensiteit: onderzoek, media en ICT	**Lage digitale intensiteit: maakindustrie en logistiek**
Generieke vraag naar DI	**Cybersecurity**, communicatietechnologie, industrial design	**Supply chains**, chemie, printing, energie, zorg, robotica
Specifieke vraag naar DI	**Gaming** (cloudhosting en zeer lage latency), Artificial intelligence (HPC), Big Science (HPC), **quantumtechnologie**	**Havenlogistiek**, smart industry en sensoriek (private netwerken), smart logistics, smart mobility (netwerk), **landbouw** en visserij (sensoriek en netwerk)

Van vrijwel alle O&I-ecosystemen kan worden gezegd dat ze **digitaal intensiever** zijn dan de bredere sector waarbinnen zij actief zijn. In brede zin is het onze verwachting dat als de innovaties meer mainstream worden de **digitale intensiteit van alle sectoren alleen maar zal toenemen**. De DI-vraag echter is niet overal identiek.

Verreweg het meeste van het gebruik door consumenten en bedrijven wordt ingevuld voor de **generieke telecomnetwerken en aanpalende DI**. Het is voor een aanbieder van digitale diensten voor consumenten immers een randvoorwaarde dat zoveel mogelijk gebruikers gebruik kunnen maken van het (nieuwe) aanbod. Beter gezegd: de kwaliteit van de dienstverlening wordt geschaald naar de grootste gemene deler. Dat is bijvoorbeeld ook de reden waarom veel van de sociale mediaplatformen en streamingdiensten allerlei vormen van compressie en variabele resoluties toepassen: zodra de kwaliteit van de verbinding ondanks de goede compressie niet meer in staat is om beste kwaliteit te versturen, dan past de resolutie zich hiernaar aan.

Kijken we meer naar de vraag vanuit het bedrijfsleven, dan zien we daar een gemend beeld. Wellicht enigszins tegen-intuïtief zijn sterk digitale sectoren die grotendeels met reguliere infra werken, zoals de cybersecurity-sector. Op het vlak van generieke DI zijn de diensten in de basis ook buiten Nederland beschikbaar of (gemakkelijk) beschikbaar te maken.

Nederland kan zich echter wel onderscheiden door **excellente aanpalende dienstverlening** op het gebied van IT-integratie en -ondersteuning.

In andere (bedrijfs)situaties is er uiteraard wel vraag naar **specifieke vormen van DI**, zoals voor allerlei vormen van bedrijfs- en missie-kritische communicatie op (lucht)havens, spoor en fabrieken. Specifieke vormen van DI kunnen niet zomaar opgebouwd worden en daarmee heeft Nederland een belangrijke voorsprong opgebouwd (of kan dit nog gaan doen). Denk bijvoorbeeld aan bepaalde gunstige geografische eigenschappen (Nederland heeft bijvoorbeeld veel toegang tot koelwater en een gunstige ligging in West-Europa) of aan de clustervoordelen zoals besproken in hoofdstuk 4.

Zo is high performance computing (HPC) capaciteit op veel plekken beschikbaar, maar is dat in bepaalde gebieden (bijvoorbeeld Amsterdam Science Park) nog beter beschikbaar. Met specifieke vormen van DI kan Nederland zich in onderscheiden door aanwezigheid ervan.

In de volgende sectie nemen we elk van deze vier cellen beschrijvend onder de loep en lichten we per cel één of twee voorbeelden uit.

Digitaal intensieve sector met generieke DI-vraag

Sectoren die zich in deze groep bevinden hebben een hoge digitale intensiteit, wat betekent dat veel (dagelijkse) activiteiten in de sector digitaal plaatsvinden. Ondanks deze hoge digitale intensiviteit kan de vraag naar specifieke DI klein zijn.

De **cybersecurity** biedt hiervoor een interessante casus. Nederland heeft een sterke cybersecuritysector op het gebied van **securitydiensten** en maar in beperkte mate van cybersecurityproducten. In gesprekken met stakeholders wordt digitale infrastructuur benoemd als belangrijk, vooral op het vlak van betrouwbaarheid, onafhankelijkheid en transparantie. Het connectiviteitsaanbod in Nederland is echter van een zodanig hoog niveau dat dit voor de cybersecuritysector meer een hygiënefactor is geworden. Het is daarmee niet onbelangrijk als vestigingsfactor: digitale infrastructuur is een randvoorwaarde en excellente digitale infrastructuur is gewenst. Echter, andere uitdagingen spelen een grotere rol.

Zo wordt opgemerkt dat er in Nederland een aantal sterke partijen is, maar dat veel kennis zich naar het buitenland verplaatst. Het gaat dan voornamelijk om het vast kunnen houden van vaardig personeel. Het gevolg is dat producten vaak uit Israël en de VS komen, of binnen de EU uit Frankrijk en Duitsland. Uit geopolitieke overwegingen is het wel wenselijk om het binnen de EU of zelfs binnen Nederland te houden.

Wanneer het bijzonder hoogwaardige beveiliging voor gerubriceerde betreft (bijvoorbeeld lijnvercijferaars) speelt ook mee dat de **Nederlandse afzetmarkt kleiner** is dan de Duitse of Franse. Dat maakt dat het moeilijker is om hier voldoende af te zetten. Dit speelt nog sterker in landen met een sterke associatie/traditie met vraagstukken rondom nationale veiligheid, bijvoorbeeld de VS, Israël, Singapore en Taiwan. Zowel menselijk kapitaal als de financiële middelen zijn hier van een andere orde dan in Nederland. Onderwerpen als nationale veiligheid en zelfredzaamheid zijn in Nederland pas recentelijk weer prominent in de publieke opinie ter discussie gesteld en op de politieke agenda gezet.

De positie van digitale infrastructuur in het geheel van randvoorwaarden is relatief klein. Hierin speelt de **generieke aard** van de DI-vraag een belangrijke rol. Hoewel Nederland in internationaal perspectief een uitstekend connectiviteitsaanbod heeft is dit in veel gevallen eerder een hygiënefactor dan een randvoorwaarde. Het belangrijkst in deze sectoren is het kunnen aantrekken en behouden van voldoende geschaald personeel.

Digitaal intensief met specifieke DI-vraag

Sectoren in deze groep zijn al digitaal intensief en hebben daarbij ook een specifieke DI-vraag. Specifieke DI heeft wel een zekere mate van diversiteit, daarom lichten we hier als voorbeelden het Nederlandse cluster van ***cloud gaming*** uit en dat van **kwantumtechnologie**. Qua aard zijn deze twee divers en ze hebben zowel verschillende redenen om hier te vestigen als verschillende effecten op de Nederlandse economie.

In Rotterdam zit een Nederlands ***cloud gaming*** cluster gevestigd. Dit ligt rondom de activiteiten van i3D.net. Gaming heeft extreem lage *latency* nodig om de game hetzelfde te laten voelen als een lokale game en daarnaast hostingruimte. Met de activiteiten in Rotterdam wordt dit aangeduid als een gaming hub. Hierin ligt een specifieke DI-vraag, met hoogwaardige connectiviteit en snelle core- en internationale verbindingen. Daarmee ligt er in dit cluster ook een sterke infrastructuurcomponent. De bijkomende activiteiten kunnen echter overal ter wereld worden uitgevoerd, mits zij aangeboden kunnen worden via hoogwaardige digitale infrastructuur.

Voor dergelijke sectoren wordt Nederland door stakeholders vaak wel genoemd als een interessante **testmarkt**. Met een combinatie van een hoogwaardige infrastructuur en een hoge adoptiegraad van nieuwe technologieën onder consumenten ligt de ruimte er voor het ontwikkelen en uitrollen van nieuwe consumententoepassingen.

De Nederlandse clusters rondom **kwantumtechnologie** hebben een ander verhaal. Kwantumtechnologie heeft een grote belofte voor toepassingen voor informatiebeveiliging, evenals veilige communicatie en slimmere logistiek, en wetenschappelijke toepassingen zoals het modelleren van natuurlijke processen (simulatie) en *sensing*. Vanuit het Groeifonds is 615 miljoen euro geïnvesteerd via Quantum Delta, een nationaal onderzoeks-ecosysteem met verschillende clusters, waarin publieke en private partijen samenwerken. Daarmee heeft het zowel een initiële behoefte aan DI, maar heeft het mogelijk ook een grote impact op de DI van de toekomst.

Voor de kwantumclusters worden specifiek **het aantrekken en behouden van talent** en **hoogwaardige innovatieve bedrijvigheid** genoemd als factoren. Nederland heeft op dit moment een sterke positie op de ontwikkeling van kwantumtechnologie, mede vanuit sterke kennisinstellingen. Investeringen in kennisinstellingen kunnen internationale partijen aantrekken, omdat kennis aanwezig is en sterke kennisinstellingen ook nieuw talent opleveren. Naast internationale partijen kan dit ook leiden tot spin-offs vanuit de kennisinstellingen.

Voor de vestigingspositie van kwantumtechnologie zijn dus primair kennisinstellingen belangrijk, maar voor het testen van kwantumencryptie is het ook relevant om toegang te hebben tot hoogwaardige connectiviteit. Ten slotte zal een hoge mate van connectiviteit ook van groot belang zijn voor de locatie van een kwantumcomputer.

Cloud gaming en kwantumtechnologie verschillen er daarmee van elkaar in dat de eerste een cluster vormt van en rondom DI en dat kwantumtechnologie een cluster vormt rondom aanwezigheid van kennis en talent. Met het bestendigen van kennis en talent kan er een sterke kenniseconomie ontwikkelen die over langere termijn een aanzuigende werking heeft. Het is hierin denkbaar dat kwantumcomputers op den duur ook via de *cloud* kunnen worden ingezet, waarmee fysieke locatie in belang afneemt. Daarna is de aanwezige kennis, expertise en activiteit de drijvende factor achter het cluster.

Lage digitale intensiviteit met generieke DI-vraag

Sectoren met een lage digitale intensiteit zijn voornamelijk sectoren waarin veel van de medewerkers maar beperkt van digitale middelen afhankelijk zijn voor hun dagelijkse werkzaamheden. Dit zijn daarmee ook de sectoren waarin met de adoptie van digitale technologie winst geboekt kan worden. Ter illustratie lichten we hier **logistiek en supply chains** uit.

Hoewel de logistiek in brede zin een sector is met lage digitale intensiviteit vindt er op bepaalde plekken intensivering plaats. In Brabant wordt dit bijvoorbeeld gedreven door ASML, dat door betere afstemming met de omliggende toeleveranciers beter in staat is betrouwbaarder productie te draaien. Hiervoor gaat het primair over het monitoren van voorraad en productie, zodat die strakker op elkaar kunnen worden afgestemd door slimmere informatievoorziening.

De middelen die hierin een bijdrage leveren zijn slechts afhankelijk van digitale connectiviteit. Informatiestromen zijn niet afhankelijk van specifieke DI en zijn ook maar beperkt afhankelijk van hoogwaardige DI. Primair is er sprake van een digitalisering en uniformisering van de informatie die binnen supply chains beschikbaar is. De uitdaging die hier speelt is adoptie ervan binnen de sector, waar zich vaak weinig kennis bevindt over datatechnologie. Binnen een aantal clusters in Nederland wordt hieraan gewerkt.

Lage digitale intensiviteit met specifieke DI-vraag

Deze laatste groep sectoren is interessant. Hierin worden veel nieuwe technologieën ontwikkeld, met een diverse vraag aan DI. Hierbij kijken we specifiek naar **havenlogistiek** en **landbouw**, omdat daar twee verschillende cases liggen. Dit zijn voorbeelden met een brede relevantie, omdat we in meer sectoren een vergelijkbare ontwikkeling zien waarin 'slimme' toepassingen worden geïntroduceerd op basis van *connected devices* en waarbij systemen worden ontwikkeld die steeds autonomer kunnen functioneren. Hoogwaardige connectiviteit is hierbij een basisvoorwaarde.

Zoals hiervoor aangegeven is de logistieke sector een vrij traditionele sector waarin de mogelijkheden van digitalisering veelal nog ontdekt moeten worden. Dit terwijl er wel duidelijke kansen liggen. Denk bijvoorbeeld aan de **havenlogistiek** van de Rotterdamse, waarbij er met behulp van *realtime tracking*, slimme containers, pallets en voertuigen, en digitale vrachtbrieven wordt gewerkt aan het optimaliseren van vervoersstromen binnen het haven-industrieel complex. Al in een vroege fase is er vanuit het Havenbedrijf geïnvesteerd een eigen glasvezelring en dedicated draadloos netwerk voor bedrijfscommunicatie, wat een goed voorbeeld is van investeringen in specifieke vormen van DI.

Een andere sector die wij in dit kwadrant hebben gezet is de **landbouw**. Hier liggen veel kansen met meer effectieve en efficiënte teelt die duurzamer is dankzij bijvoorbeeld minder bestrijdingsmiddelen en meststoffen. Dit wordt onder andere gefaciliteerd door gebruik van satelliet- en weerdata, slimme klimaatsystemen en draadloze sensoren. Het Westland is hierbij uiteraard een erg interessante regio, aangezien hier de volledige kassenbouw-waardeketen vertegenwoordigd is. De (tijdelijk) **specifieke(re) DI-vraag** komt hier bijvoorbeeld uit het gebruik van steeds meer sensoriek en datagedreven klimaatsystemen. Met de adoptie van die toepassen ontstaat er meer vraag naar zowel qua draadloze aansluitwerken (sensoren ontsluiten binnen de kas) als hoogwaardige vaste dataverbindingen naar (cloud-gebaseerde) aansturingssoftware. Dergelijke vraag invullen kan in het buitengebied soms een uitdaging zijn qua capaciteit van de mobiele netwerken en voor sommige gebieden qua vaste aansluitnetwerken. Ook binnen de akkerbouw is een vergelijkbare ontwikkeling gaande qua sensoriek, maar is met name qua GPS-aansturing van landbouwvoertuigen en het gebruik van satellietdata voor gewasontwikkeling (teelt, bescherming en oogst) een interessante vraaggroei gaande.

Binnen deze sector speelt dat Nederland een flinke voorsprong heeft op het gebied van technologie en -kennis. Het is daarbij de vraag of we als regio en land met name de voorsprong qua teeltproductie willen behouden en benutten, of dat de export van deze kennis ook een belangrijk doel op zichzelf kan worden. Dergelijke vraagstukken hebben uiteindelijk ook impact op de toekomstige DI-vraag die vanuit de sector komt: gaan we verder verslimmen en optimaliseren (meer DI-vraag) of juist afschalen en inzetten op kennisdisseminatie (minder DI-vraag). De bredere maatschappelijk discussie over de neveneffecten van de sector kan hier uiteraard een bepalende factor in zijn.

Synthese

Het doel van deze voorbeelden is om de **relatieve importantie** van DI voor verschillende onderdelen van de digitale economie en de **mechanismes** waarlangs DI van waarde is te illustreren. Op basis van deze voorbeelden kunnen geen causale relaties worden aangetoond, maar het levert een aantal waardevolle inzichten op:

- In veel sectoren, ook de (traditioneel) digitaal intensievere, is digitale infrastructuur een hygiënefactor geworden, juist omdat het niveau van DI in Nederland bijzonder hoog is. Hierbij is digitale infrastructuur wel belangrijk, maar we kunnen geen uitspraken doen over het relatieve belang ten opzichte van de andere factoren. Andere ecosysteem-randvoorwaarden, zoals het aantrekken van voldoende gekwalificeerd personeel (incl. 30%-regeling), het woningtekort, stikstofregulering en beperkingen in het elektriciteitsnetwerk worden als voorbeelden van veel grotere uitdagingen gezien door onze gesprekspartners.

- Waar wel een vraag naar specifieke DI bestaat is de positie van Nederland sterk en wordt vaak ook de rol als digitaal voorloper genoemd. Dit speelt bijvoorbeeld bij kwantumtechnologie, waar zich een ecosysteem aan het vormen is rondom kennisinstellingen. Hiermee wordt verwacht dat als zich meer bedrijvigheid zich vestigt, dat het ecosysteem ook aantrekkelijker wordt voor buitenstaanders. Hierbij spelen als belangrijkste vragen het aantrekken van gekwalificeerd personeel en hoogwaardige innovatieve bedrijvigheid.

- Traditioneel minder digitaal intensieve sectoren kunnen een sterkere of zelfs nieuwe vraag naar DI gaan ontwikkelen. Hierbij gaat het om het 'verslimmen' van processen, met bijvoorbeeld sensoriek of *connected devices*. Voor de ontwikkeling van deze toepassingen kan per element van de DI worden bepaald in hoeverre hier knelpunten zullen optreden. Denk hierbij aan de vraag in hoeverre de MNO's en aanbieders van specifieke oplossingen in staat zijn om voldoende aanbod te generen of tegen welke nieuwe beperkingen zij aanlopen. Dezelfde vragen gelden voor de ontwikkeling en uitrol van 6G-technologie. Het recent opgestarte Future Networks & Services programma is erop gericht om knelpunten te identificeren en mitigeren middels onderzoek, innovatie en onderwijs.

5.4 Exporteerbare waarde van DI

Een laatste sector-overstijgende overweging die wij mee willen geven heeft betrekking op de directe **exporteerbare waarde** van de geboden DI-dienstverlening. Tot hier toe heeft deze studie voornamelijk gereflecteerd op (a) clustervorming binnen de DI en (b) het belang van DI voor de (digitale) economie. We zien echter dat niet alle waarde die de Nederlandse DI creëert ook daadwerkelijk op Nederland gericht is, aangezien de infrastructuur ook internationaal kan worden afgenomen. We zullen deze kwestie duiden aan de hand van een aantal **voorbeelden** vanuit de DI. We benoemen hierbij ook de lokale lasten, omdat de discussies omtrent de ontwikkeling en inpassing digitale infrastructuur – specifiek voor de internationale markt –gepaard kan gaan met weerstand tegen de lokale lasten (*not in my backyard)*.

De **aansluitnetwerken** dienen per definitie lokale markt. In voorgaand hoofdstuk hebben we daarbij uitgelegd dat er bij deze netwerken sterke schaalvoordelen spelen en dat de mobiele en vaste netwerken elkaar complementeren (scopevoordeel). Het is vooral zaak om ze tegen zo min mogelijk lokale lasten te realiseren. We constateren discussies over de wenselijkheid van masten en de overlast bij graafwerkzaamheden, maar over het algemeen lijkt er consensus over het nut en de wenselijkheid van deze netwerken. De exporteerbare waarde van deze netwerken is per definitie echter laag. Een uitzondering hierop ligt nog in beperkte mate in de combinatie van mobiel en toerisme (databundels voor buitenlandse simaarten), maar door de roaming-overeenkomsten binnen de EU al veel minder geworden.

Bij de **IX'en en zeekabels** is het speelveld totaal anders. Deze componenten bedienen uiteraard wel een internationale markt. Daarbij is er ook nog eens sprake is van de sterke schaal- en agglomeratievoordelen zoals wij die al in voorgaand hoofdstuk beschreven. Deze DI-onderdelen hebben daarbij ook relatief weinig lokale lasten. Voor deze DI-componenten is het daarom erg relevant om hun positie te blijven monitoren en bij te sturen waar nodig (bijvoorbeeld vanwege de druk op onze digitale autonomie).

Bij **datacenters** ontstaat een gemengd beeld wat betreft de balans tussen de baten en lasten. Zo hebben regionaal primair een regionale focus ('overal in NL binnen 30 km een datacenter beschikbaar'), is hun omvang erg beperkt (menigeen zal ze niet herkennen op een willekeurig bedrijventerrein) en bedienen zij vooral lokale vraag. De multitenant datacenters hebben zowel een nationale als een internationale focus, bijvoorbeeld om content of rekenkracht van buitenlandse partijen dichter bij de Nederlandse eindgebruiker of andere digitale toepassingen te plaatsen. De hyperscalers bedienen ook nationale vraag, maar hebben per definitie een sterk internationaal karakter. Met name bij de hyperscalers, maar ook bij het cluster van multitenant-datacenters speelt het duidelijkste kosten-baten vraagstuk: ze generen werkgelegenheid en inkomsten ('Google is de grootste werknemer in Noordoost-Groningen'), creëren toegevoegde waarde, maar verbruiken op lokale schaal veel stroom en ruimte.

Satellietgrondstations is ook tot slot een interessant voorbeeld, aangezien ze erg belangrijk zijn voor internationale dienstverlening, zoals Inmarsat met een satellietnooddienst voor de scheepvaart. De directe Nederlandse baten zijn echter beperkt en dergelijke stations nemen waardevol radiospectrum in. Rondom de 3,5 GHz-band is nu duidelijk voor nationaal belang (5G) gekozen.

5.5 Conclusies

Waar wij in het voorgaande hoofdstuk de interactiemechanismes tussen de verschillende DI-onderdelen bloot hebben gelegd aan de hand van de theorie uit hoofdstuk 2, hebben we dit hoofdstuk een alternatieve insteek gekozen om de (relatieve) importantie van DI te beschrijven. We deden dit aan de hand van (1) de berekeningen van het aandeel van DI in het BBP, (2) de vraag naar DI vanuit andere sectoren en (3) voorbeelden van de exporteerbare waarde van DI.

De **economische waarde** van DI wordt door veel verschillende onderzoeken als **(zeer) hoog** becijferd. De waarde komt enerzijds voort vanuit de toegevoegde waarde die binnen de sector zelf wordt gerealiseerd en anderzijds door de verhoging van de factorproductiviteit door het toepassen van DI in de bredere (digitale) economie.

In de vraag naar vanuit de (sterk) gedigitaliseerde sectoren zien wij een duidelijk onderscheid tussen vraag naar **generieke** DI (de grootste vraag) en een selectie van sectoren waar aanvullend een vraag naar **specifieke** DI bestaat. Hoewel bij die laatste partijen de vraag naar DI bijzonder is, wordt door zowel onze analyses als de gesprekken die wij hebben gevoerd, DI vooral al hele **belangrijke hygiënefactor**. Dit is vooral het gevolg van het feit dat de digitale connectiviteit in Nederland excellent is (zie Hoofdstuk 3). Wat vroeger een bijzondere vraag was, is nu in Nederland vrijwel overal beschikbaar (of makkelijk bereikbaar). De schaal- en scopevoordelen zijn hier een belangrijke verklaring voor.

Met de beweging naar **virtualisatie** wordt het aanbod van DI steeds generieker: meer toepassingen kunnen vanuit een datacenter worden aangeboden met inzet van generieke cloud-gebaseerde elementen (zie ook TNO-rapportage). Dit neemt het belang van innoveren echter niet weg. Voor veel technologie, zowel binnen als buiten de DI, speelt het aantrekken van talent en bedrijvigheid in de **ontwikkelingsfase** een grote rol. Door het opbouwen van een **vroege voorsprong** kan een kenniseconomie zich ontwikkelen die ook relevant blijft wanneer de technologie generieker wordt (beter beschikbaar of gehost in datacenters). Daarmee liggen er kansen in het vroeg stimuleren van Nederlandse innovatieve clusters. In alle gevallen, zowel binnen de DI als de bredere digitale economie, wordt **menselijk kapitaal** hiervoor als de belangrijkste beperkende factor genoemd. Deze uitdaging is niet uniek aan Nederland. Het aantrekken van (internationaal) talent is een speerpunt voor de meeste stakeholders met wie wij gesproken hebben.

6 Conclusies

Dit onderzoek richtte zich op de vraag wat het belang is van digitale infrastructuur voor Nederland als digitale hub en als digitaal knooppunt van Europa. Hoewel er in de afgelopen jaren al veel aandacht is uitgegaan naar dit verschijnsel, was er vanuit EZK behoefte aan een gestructureerde analyse van de onderliggende mechanismes achter de knooppuntrol en hubfunctie van Nederland. In de volgende paragraven geven we per onderdeel en onderzoeksvraag een beknopt overzicht van onze bevindingen.

6.1 Definitie van de digitale hub

***Onderzoeksvraag 1**: Wat is een digitale hub?*

De term digitale hub en digitaal knooppunt komen voor in beleidsdocumenten en sectorrapporten, maar we constateren dat er geen eenduidige definities voor deze termen bestaan. In onze analyse van het begrip 'digitale hub' hebben we onderscheid gemaakt tussen een smalle en een brede benadering.

In de **smalle benadering** gaan we met name in op de partijen en de waardeketens die gezamenlijk de digitale infrastructuur ontwikkelen, beheren en exploiteren. Hiervoor maakten we een *quickscan* van de footprint en analyseerden we vervolgens alle interacties tussen de verschillende DI-onderdelen aan de hand van schaal, scope en agglomeratie. Zodoende hebben we een overzicht gemaakt van de sterktes en interactiemechanismes **binnen deze infrastructuurhub**.

Vervolgens kozen we **bredere benadering** van het begrip de digitale hub, waarbij de digitale infrastructuurcluster een randvoorwaarde voor andere sectoren en digitale ecosystemen vormt; ook wel de digitale economie. In die gevallen worden de digitale infrastructuur en digitale toepassingen ingezet voor (maatschappelijke) waardecreatie. Het doel van deze verbreding is om in eerste instantie te laten zien op welke manier de DI waardevol is voor deze sectoren (met name de **vraag naar DI**), om vervolgens te laten zien waar toekomstige groeikansen liggen voor Nederland doordat de digitale infrastructuur van een dermate hoge kwaliteit is.

6.2 Theoretische mechanismes

***Onderzoeksvraag 2**: Welke theoretische mechanismen, zoals spillover- of netwerkeffecten, spelen een rol in de relatie tussen de kwaliteit van DI en de digitale hub die daarop is ontwikkeld?*

In de analyse van de onderlinge relaties en afhankelijkheden binnen de digitale infrastructuur hanteren we de volgende theoretische mechanismes (met name in de smalle benadering).

- **Schaalvoordelen** – het vergroten van de productieschaal leidt tot hogere efficiëntie en lagere kosten per geproduceerde eenheid. Bij digitale diensten ontstaan daarnaast ook nog **netwerkeffecten**, waarbij de waarde van een netwerk (exponentieel) stijgt met het aantal afnemers/deelnemers (wet van Metcalfe). Binnen de DI zien we dit bijvoorbeeld sterk terug bij consolidatieslagen bij de grotere netwerkeigenaren: door de uniforme proposities en schaalbaarheid van bijvoorbeeld aanleg, beheer en marketing is het mogelijk om een steeds grotere groep klanten tegen grofweg dezelfde productiekosten te bedienen (afgezien van de investeringen in de infrastructuur zelf).

- **Scopevoordelen** – het combineren van verschillende bedrijfsactiviteiten kan ertoe leiden dat de productiekosten voor beide activiteiten lager worden. Binnen de DI zien we dit met name terug in de triple en quadruple play proposities richting consumenten. Ook de integratie van de dienstverlening bij zakelijke connectiviteitsaanbieders (combineren van diensten voor dark fiber, belicht, datacenters, internationale connectiviteit en aanpalende diensten) is een goed voorbeeld vanuit de DI-sector.

- **Agglomeratievoordelen** – de aanwezigheid van anderen leidt ertoe dat de productiekosten lager worden door *lagere transportkosten* (DI-voorbeeld: lage latency), *pooling van menselijk kapitaal* (DI-voorbeeld: personeel voor beheer en onderhoud centraal in NL) en *kennis-spillovers* (DI-voorbeeld: relatief kleine sector met veel kennisroulatie binnen brancheverenigingen, tijdens vakbeurzen, door onderling gebruik van infra, leren van strategie na consolidatie, baanwisselingen, etc.).

Deze theoretische mechanismes kunnen zowel een **zelfversterkend** ('datacenters leiden tot meer datacenters') als een **onderling versterkend** effect ('datacenters leiden tot meer internationale verbindingen') teweeg brengen. Dit zelfversterkende effect zien we ook terug in de literatuur rondom (industriële) clusters en innovatie-ecosystemen, hoewel de digitale infrastructuur hier primair als één van de randvoorwaarde voor de daadwerkelijke ecosysteemfuncties word gezien.

6.3 Relatieve belang digitale infrastructuur

***Onderzoeksvraag 3**: Wat is de relatieve importantie van de verschillende onderdelen van DI?*

We zijn met deze studie vooral geslaagd in het uitwerken en analyseren van de digitale hub aan de hand van de **smalle benadering** ('de DI-hub'). We hebben zowel een quickscan van de aanwezige footprint als een diepgaande analyse van de onderlinge afhankelijkheden gemaakt.

Uit de quickscan blijkt dat de DI in Nederland van **uitzonderlijk goede kwaliteit** is. We hebben uitstekende aansluit- en core-netwerken, we hebben een variatie aan internationale routes, het datacentercluster rondom Amsterdam is één van de belangrijkste markten van Europa, de interconnectiviteit door exchanges en peering is zeer hoog en doordat al deze componenten zo sterk aanwezig zijn is de kwaliteit en adoptie van hosting en cloud-toepassingen uitstekend. **Aandachtspunten** zitten in het vernieuwen van bepaalde internationale verbindingen en beperkte groeimogelijkheden voor datacenters.

Uit de analyse van de interactiemechanismes blijkt dat de verschillende DI-onderdelen **sterk van elkaar afhankelijk** zijn. We hebben dit aangetoond aan de hand van schaal, scope en agglomeratievoordelen. De schaal- en scopevoordelen zien we in alle onderdelen van de DI. De zogenoemde netwerkvoordelen (de waarde van het netwerk neemt kwadratisch toe als er meer leden zijn) zijn hier een goede onderliggende verklaring voor. Agglomeratie-effecten zijn ook duidelijk in beeld gebracht, met name in de hogere lagen van het DI-ecosysteem (datacenters, IX, peering, hosting en cloud).

Op de vraag of DI ook echt een **pullfactor** is voor bedrijven om in Nederland te vestigen (zie paragaaf 1.2) stellen we vast dat dit met name speelt voor DI-aanbieders uit de lagen waarop we agglomeratievoordelen vast hebben gesteld. Voor de aanbieders van digitale toepassingen loont het om dicht bij elkaar te zitten, met name als een toepassing (app, platform, software-oplossingen) meerdere deeloplossingen combineert (kaarten, routeberekening, betalingen, voorraad, etc.); door de sector beschreven als *data gravity*. Zodra we buiten de sector zelf kijken worden de voorbeelden van het DI-belang snel anekdotisch en

heel specifiek, waardoor we hier geen algemeen geldende uitspraken over kunnen doen. De achterliggende vraag of alle onderdelen excellent goed moeten zijn of dat er ook een minimale vereiste is hebben wij beperkt kunnen uitdiepen met deze studie.

6.4 Bredere doorwerking van DI op de digitale economie

***Onderzoeksvraag 4**: Wat zijn de belangrijkste voorwaarden voor het ontwikkelen van een succesvolle digitale hub? En specifiek, hoe belangrijk is DI als voorwaarde ten opzichte van andere voorwaarden voor een succesvolle digitale hub?*

***Onderzoeksvraag 5**: In welke mate bestaat er een relatie tussen het kwaliteitspeil van DI en de omvang en ontwikkeling van de digitale hub die daarop is ontwikkeld, in Nederland en in vergelijkbare landen?*

Voor de beantwoording van de laatste twee onderzoeksvragen zijn hebben we ons verdiept in de bredere doorwerking van DI in de bredere (digitale) economie. Het beantwoorden van deze onderzoeksvragen voor deze brede benadering van de digitale hub bleek uitdagend. In de beschikbare stukken en gesprekken kwamen we hier tot te beperkte diepgang om generieke uitspraken te kunnen doen. Om toch inzicht te geven in de (relatieve) importantie van DI hebben we een **nauwere insteek** gekozen dan in de originele vraagstelling werd gesteld. We hebben het belang beschreven aan de hand van (1) het aandeel van DI in het BBP, (2) de vraag naar DI vanuit andere sectoren en (3) voorbeelden van de exporteerbare waarde van DI (op welke wijze draagt de DI bij aan het internationaal verdienvermogen van NL).

De **economische waarde** van DI wordt door veel verschillende onderzoeken als **(zeer) hoog** becijferd. De waarde komt enerzijds voort vanuit de toegevoegde waarde die binnen de sector zelf wordt gerealiseerd en anderzijds door de verhoging van de factorproductiviteit door het toepassen van DI in de bredere (digitale) economie.

Kijken we naar de vraag vanuit de verschillende sectoren, dan stellen we vast dat de digitale economie vanzelfsprekend erg afhankelijk is van de DI; **zonder connectiviteit geen digitale diensten**. Partijen herkennen dan ook de positie van Nederland als digitaal knooppunt of digitale hub. Ook hebben verschillende onderdelen van de DI een duidelijke exporteerbare waarde.

We kunnen op basis van ons onderzoek alleen geen eenduidige uitspraken doen over het relatieve belang ten opzichte van de andere ecosysteem-randvoorwaarden (oftewel: de relatieve omvang van de causaliteitsrelatie). In veel sectoren, ook de (traditioneel) digitaal intensievere, is digitale infrastructuur een **hygiënefactor** geworden, juist omdat het niveau van DI in Nederland bijzonder hoog is. Uitdagingen rondom het aantrekken van voldoende gekwalificeerd personeel (incl. 30%-regeling), het woningtekort, stikstofregulering en beperkingen in het elektriciteitsnetwerk werden door onze gesprekspartners gezien als grotere uitdagingen voor het toekomstig verdienvermogen.

Gesprekspartners wezen ons tot slot op **de kansen richting de toekomst**. Kunnen we een nieuw 'vliegwiel' ontdekken waar we als land weer een unieke positie op kunnen bemachtigen? Met de start van bijvoorbeeld het Future Networks & Services programma wordt hier een mooie eerste stap in gezet wat betreft de positie van Nederland op het gebied van 6G-technologie en -toepassingen.

Verwijzingen

[1] Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2022). *Strategie Digitale Economie* [open.overheid.nl] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

[2] Kabinet Rutte IV (2021). *Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst - Coalitieakkoord 2021 – 2025* [open.overheid.nl] Den Haag: Kabinet Rutte IV.

[3] Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2023). *De Staat van de Digitale Infrastructuur* [] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

[4] TNO (2023). *Overzicht Digitale Infrastructuur - conceptversie* [] Den Haag: TNO.

[5] Deloitte (2013). *Digital Infrastructure in the Netherlands – The Third Mainport*

[6] Deloitte (2014). *Digital Infrastructure in the Netherlands - Driver for the Online Ecosystem* [www.dinl.nl] Amsterdam: Deloitte.

[7] Deloitte (2016). *Dutch Digital Infrastructure 2016. Enabling the digital economy and society*

[8] Stichting Digitale Infrastructuur (2016). *VNO-NCW onderschat belang digitale mainport* [www.dinl.nl]

[9] Tweede Kamer (2015). *Motie van het lid Verhoeven over erkennen van de digitale infrastructuur als derde mainport* [www.tweedekamer.nl] Den Haag: Tweede Kamer - vergaderjaar 2015–2016, 34 300 XIII, nr. 45.

[10] Rijksoverheid (2018). *Nederlandse Digitaliseringsstrategie: Nederland digitaal - Hier kan het. Hier gebeurt het* [www.rijksoverheid.nl] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

[11] Rijksoverheid (2021). *Nederlandse Digitalisingsstrategie 2021* [open.overheid.nl] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

[12] Glaesser et al, (1992). *Growth in Cities*100 red.,

[13] Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations* [hbr.org] vol. 1990, Harvard Business Review.

[14] Carlino, G. (2001). *Knowledge Spillovers:Cities' Role in the New Economy* [www.researchgate.net] vol. 7, Harvard Business Review.pp. 17-26.

[15] Dialogic (2022). *De uitdagingen van snel internet in het buitengebied* [dialogic.nl] Utrecht: Dialogic.

[16] Dutch Datacenter Association (2023). *State of Dutch Datacenters 2023* [www.dutchdatacenters.nl]

[17] CBRE (2023). *Europe Data Centres: Frankfurt, London, Amsterdam, Paris and Dublin Q4 2022* [mktgdocs.cbre.com]

[18] Buck Consultants International (2021). *Verkenning relatie accommoderen datacentervraag en digitaliseringskansen* [open.overheid.nl] Nijmegen: Buck Consultants International.

[19]Rijksoverheid (2022). *Kabinet beperkt mogelijkheid tot vestiging hyperscale datacentra* [www.rijksoverheid.nl]

[20]Microsoft Azure (2023). *Microsoft Datacenters News Overview* [datacenters-wp-production.azurewebsites.net]

[21]AMS-IX (2023). *Total statistics* [www.ams-ix.net]

[22]Brazil Internet Exchange (2023). *In a new record, IX.br surpasses 31 Tbit/s of peak Internet traffic exchange* [www.nic.br]

[23]AMS-IX (2023). *Connected Networks* [www.ams-ix.net]

[24]Europese Commisse (2023). *Digital Economy and Society Index (until 2022)* [digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu]

[25]Amsterdam Museum (2014). *25 jaar internet in Nederland* [hart.amsterdam]

[26]McCrory, D. (2010). *Data Gravity – in the Clouds* [datagravitas.com]

[27]Insights, N. (2020). *De impact van data gravity op IT* [www.northcdatacenters.com]

[28]Digital Realty (2020). *Data Gravity Index DGx v1.5* [go2.digitalrealty.com]

[29]Digital Realty (2023). *Data Gravity Index™ 2.0: As Trade Flows, Data Flows* [www.digitalrealty.com]

[30]Christian, P. (2022). *Global Capacity Update* [www2.telegeography.com]

[31]Digital Realty (2022). *2022 Report Global Data Insights Survey* [go2.digitalrealty.com]

[32]Dialogic (2021). *Het Nederlandse investeringsklimaat* [www.dialogic.nl] Utrecht: Dialogic.

[33]Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2021). *Kamerbrief Veiligheid van Zeekabels* [open.overheid.nl]

[34]NOS (2023). *Gas- en telecomverbinding tussen Finland en Estland beschadigd, mogelijk sabotage* [nos.nl]

[35]Dialogic (2012). *De bijdrage van de telecomsector aan de economische groei in Nederland* [dialogic.nl] Utrecht: Dialogic.

[36]CBS (2023). *De digitale economie beter inzichtelijk gemaakt* [www.cbs.nl]

[37]The METISfiles en PB7 (2019). *De Toekomst van de Digitale Economie – Tijd voor Fundamentele Keuzes* [www.dutchdatacenters.nl] The METISfiles.

[38]Ecorys (2023). *Economisch belang digitale infrastructuur* [] Rotterdajm: Ecorys.

[39]Centraal Bureau voor Statistiek (2022). *ICT-gebruik bij bedrijven; kerncijfers* [opendata.cbs.nl]

[40]theMETISfiles (2022). *De Digitale Economie in regionale context*

[41]Dialogic (2020). *Onderzoeks- en innovatie-ecosystemen in Nederland* [www.dialogic.nl] Utrecht: Dialogic.

[42]Eurostat (2023). *Digital Intensity Index* [ec.europa.eu]

[43]CDN Planet (2023). *Content Delivery Networks by country* [www.cdnplanet.com]

[44]Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2021). *Kamerbrief ontwikkelingen omtrent zeekabels* [open.overheid.nl]

[45]Stratix (2021). *Vergunningen voor zeekabelaanlandingen* [www.stratix.nl] Hilversum: Stratix.

[46]Stratix (2021). *Zeekabels in Nederland* [www.stratix.nl] Hilversum: Stratix.

Bijlage 1. Overzicht interviewrespondenten

Organisatie	Gesprekspartner
AMS-IX	Alex de Joode en Ruben van den Brink
Cyberveilig Nederland	Petra Oldengarm
Dutch Cloud Community	Simon Besteman
Dutch Datacenter Association	Stijn Grove; Laura Beukers
Fiber Carrier Association	Andrew van der Haar
NL Connect	Mathieu Andriessen
Stichting Digitale Infrastructuur Nederland	Michiel Steltman
VNO-NCW	Stijn van Butselaar
VodafoneZiggo / Liberty Global	Stein Smeets en Remi van de Calseijde
TNO	Hans Stokking

Bijlage 2. Interactiematrix DI-onderdelen

	Aansluitnetwerken	Backbone en core-netwerken	Internationale netwerken	Datacenters	IX'en en peering	Hosting, cloud en platform
Aansluitnetwerken	**Schaal** - Bij aanleg van een aansluitnetwerk loont het om gebiedsdekkend te zijn, want als er al een gedeeltelijk netwerk ligt is het vele malen goedkoper om uit te breiden dan om nieuw te leggen. - Herhaalbaarheid van businessmodel: aannemers, ontwerp, dienstenaanbod. Wel regionaal gebonden. - Mobiel: idem, incl. beheer opstelpuntpunten. Bij frequenties voor landelijk mobiel geldt zelfs een dekkingsverplichting. - Bij lokale netwerken gaat dit minder sterk op, al zijn er wel specialistische aanbieders zoals Greenet. **Scope** - Vast en mobiel kennen synergie, bijvoorbeeld omdat PoP-locaties ook ruimte bieden voor een opstelpunt. - Op afnemerniveau zien we ook vast-mobiel-convergatie. - Als straks small cells nodig zijn, dan heeft het ook een voordeel om goed aansluitnetwerk te hebben, want bij elke eindgebruiker zou je kunnen termineren. **Agglomeratie** - Vast: elke provider geeft voorkeur voor unieke positie. Dubbele aanleg wordt het liefst zo veel mogelijk voorkomen, maar het kan nu blijkbaar nog uit om het te doen - Mobiel: elk extra netwerk maakt hoge opbrengsten, zonder extra inkomsten. Op hotspots dwingen de partijen elkaar tot concurrentie, beter aanbod van de ene maakt dat de andere wel mee moet om concurrerend te blijven.	**Scope** - Bij de aanleg van aansluitnetwerken is het makkelijk – en goedkoop – om meer delen van een core-netwerk aan te leggen. - Beperkt: Eurofiber biedt meer aan **Agglomeratie**: - Beperkt	**Scope** - Beperkt, want je kunt als telco transit inkopen - Wordt alleen als je genoeg aansluiting hebben, zoals KPN vroeger in zeekabel consortia in is gestapt. We zien DELTA dat nu (nog) niet doen. **Agglomeratie**: - Beperkt/niet, maar alleen bij heel veel mensen	**Scope** - Ja, want handig voor pops, wijkcentrales **Agglomeratie** : - Ja, want beter aangesloten gebruikers kan voor meer vraag naar content zorgen	**Scope** - Ja, want je wordt interessanter als je als netwerkeigenaar met meer andere partijen gekoppeld bent. **Agglomeratie** : - Ja, meer eyeballs, meer verkeer	**Scope** - Voor zakelijke aansluitingen, maar beperkt. **Agglomeratie** - Meer gebruik en adoptie van meer verschillende diensten
Core-netwerken	**Scope** - Er liggen economische voordelen in het bezitten van zowel corenetwerk als aansluitnetwerk. **Agglomeratie** - Als er een corenetwerk van iemand anders ligt is het goedkoper om een aansluitnetwerk aan te leggen.	**Schaal** - In core-netwerken zit het belang op **landelijke dekking**. Het ontsluiten van meer locaties versterkt een bestaand netwerk. - Meer capaciteit in de core is eenvoudig te realiseren. - Elke klant leidt tot meer klanten, de kosten van elke extra aansluiting worden lager. - Eurofiber: had een ring in NL, de eerste uitbreidingen was duur, maar bij verdere vermazing - Redundantie en lagere latency - Lichte voordelen **Scope**: N.v.t. **Agglomeration** - Zwak effect, wel concurrentie-effecten t.b.v. van redundantie: als zakelijke gebruikers gebruikmaken van de eerste aanbieder, dan ontstaat mogelijk ook vraag naar een tweede.	**Scope** - Als transit te duur wordt, dan kun je eigen kabels trekken **Agglomeratie** - Dekkende corenetwerken maken het gemakkelijker om een internationale verbinding over land te realiseren. Transit beter regelen. BT landt in Katwijk en moet nog naar Duitsland.	**Scope** - Zeer beperkt, hooguit ruimte om actieve apparatuur neer te zetten **Agglomeratie** - Zeer sterke effecten. - Stel Amsterdam is vol, waar kun je dan een tweede locatie neerzetten. Kan alleen als er veel capaciteit is. - Voordelen twee richtingsverkeer. - Aansluiting op core-netwerken is een randvoorwaarde voor datacenters (specifiek multitenant en hyperSchaalr).	**Scope** - Beperkt, hooguit als de core meer verkeer faciliteert **Agglomeratie** - Corenetwerken hebben koppeling nodig met elkaar en het internet. Deels verloopt dit via direct peering, deels via IX'en.	**Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Beperkt
Internationale netwerken	**Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Beperkt	**Scope** - Alleen als ze zelf transit gaan doen **Agglomeratie** - Zeer beperkt	**Scale** - Toename van het aantal vezels op een tracé leidt tot minimale meerkosten van deployment. - Transitverbindingen worden mogelijk als je meerdere landen bedient. Kan doordat de verbinding korter wordt, maar ook als alternatief pad.	**Scope** - Beperkt, alleen bij hyperscale-partijen die zelf investeren in beide. **Agglomeratie**	**Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Sterk. IX en peering is vaak internationaal. Dit vindt dus gemakkelijker plaats in de buurt van internationale verbindingen.	**Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Ononderbroken internationale verbindingen staan het toe om hosting- en

			Scope - Land en zee - TV distributie vanuit satelliet wat naar het buitenland moet (BBC) - Capaciteit en latency kan een reden bieden om een tweede. Meeropbrengsten nemen wel sterk af als je al naar een bepaald land. - Als een contentprovider naar Starlink klanten wil, dan moet je naar een bassisstation - Satelliettelefoon, **Agglomeratie** - Wanneer een locatie goed internationaal verbonden is, kan het goedkoper zijn om vanaf daar een verbinding te verlengen dan een nieuwe directe te realiseren. Zo is het bijvoorbeeld goedkoper om via Londen een nieuwe verbinding naar de VS aan te leggen dan met een nieuwe trans-Atlantische kabel. - Als er een paar kabels liggen, dan is het interessant om er meer bij te leggen. Beheer en vergunningen, EZK helpt, land bouwt expertise op.	- Ligging nabij zeekabels is aantrekkelijk voor hyperschalers, die minder afhankelijk zijn van connectiviteitsaanbod op korte afstand. - Veel partijen met aanwezigheid in multitenant datacenters leveren hun diensten internationaal. Dat wordt versterkt door betrouwbare en snelle internationale verbindingen.		clouddiensten internationaal te leveren vanuit een centrale locatie. Amsterdam is een voorbeeld van een goed verbonden locatie [Deloitte 2013], met lage latency naar de rest van Europa.
Datacenters	**Scope** - Nee **Agglomeratie** - Nee	**Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Ja, want datacenters trekken meer core aan om zo meer carriers met hun potentiële klanten te connecten.	**Scope** - Bij veel content op geconcentreerde locaties kan het lonen om hier nieuwe internationale verbindingen naartoe te brengen. - Hyperschalers investeren zelf ook in zeekabels, om zo voldoende capaciteit voor zichzelf te garanderen. **Agglomeratie** - Sterk, want internationaal aantrekkelijk	**Scale** - Elke extra datacenter is makkelijker om te realiseren en exploiteren: aannemers, expertise. - Korte afstanden is aantrekkelijk, 10-30-80 km. Moet op een andere plek staan, maar niet te ver. Cloud maakt dat de gevoeligheid van natuurrampen minder hoog is. Behalve bij extreem gevoelige en missiekritische diensten, dan verder van elkaar. - Hyperscalers maken gebruik van schaalvoordelen en hebben daarom inzet op grote datacenters in het buitengebied. **Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Meer (colocatie-)aanbod biedt meer connectiviteit en maakt vestiging daarmee aantrekkelijker - Concentratie trekt ook leveranciers en dienstverleners aan, wat onderhoud toegankelijker maakt, maar je moet steeds minder vaal in het datacenter zijn. Er zitten wel grenzen aan de groei	**Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Colocatie datacenters fungeren als *peering hub* voor hun klanten. - Concentratie van datacenters trekt ook extern connectiviteit aan, bijv. carriers en on-ramps van hyperSchaalrs	**Scope** - Alleen als een partij beide wil gaan doen **Agglomeratie** - Ja, want eenvoudiger om op te zetten. - Dienstverlening is efficiënter (kosten en *latency*) als het dichter bij de data gevestigd is (*data gravity)* - Een sterke datacentermarkt geeft meer kans op gespecialiseerde dienstverlening, wat specialistischere clouddienstverlening makkelijker en goedkoper maakt
IX'en en peering	**Scope** Nee **Agglomeratie** Nee	**Scope** Nee **Agglomeratie**: Beperkt	**Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Meer IX leidt tot meer internationaal verkeer. De aanleg van internationale netwerken is aanzienlijk duurder dan de realisatie van een IX.	**Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Colocatie datacenters fungeren als *peering hub* voor hun klanten. - Concentratie van datacenters trekt ook extern connectiviteit aan, bijv. carriers en on-ramps van hyperSchaalrs	**Scale** - Een netwerk wordt meer waard als het meer leden heeft (wetten van Sarnoff, Metcalfe, Reed). Dit gaat op voor IX'en. Bestaansrecht van een IX. - Voor Peering: als veel peers in hetzelfde datacenter zit, dan wordt de volgende makkelijker - Aan de kant van de dienstenaanbieders zit zeer veel concentratie. 80% van het vekeer. Aan het kant van de afnemers zijn het er zelfs maar drie. - Peering is een strategische overweging. - Vanuit het ecosysteem is het heel relevant, maar de individuele verbinding is vrij eenvoudig **Scope** - Beperkt, je zegt geen AMSix poort op nadat je bent gaan peering. **Agglomeration** - Beperkt, niet meer andere IXén	**Scope:** - Beperkt **Agglomeratie** - IX en peering ontsluiten diensten direct naar klant of core-netwerk en maken ze daardoor beter leverbaar. - Cloudconnectiviteitsdiensten (peering) specifiek worden steeds belangrijker. - Wordt goedkoper en makkelijker om te koppelen naar meer klanten.

					Kwaliteitsbehoud tussen partijen, bijvoorbeeld als de NPO stream op de ene aanbieder beter is dan bij de anderen	
Hosting, cloud en platform	**Scope** - Nee **Agglomeratie** - Betere aansluitingen om meer diensten bij de afnemers te krijgen. Afhankelijk neemt toe.	**Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Ja, want heeft betere core aansluitingen sterk nodig	**Scope** - Beperkt **Agglomeratie** - Ja, want heeft betere internationale verbindingen aansluitingen sterk nodig	**Scope** - Ja, met name bij hyperscalers aangezien die zowel clouddienstenleverancier als datacenter-eigenaar zijn. **Agglomeratie** - Dienstverlening is efficiënter (kosten en *latency*) als het dichter bij de data gevestigd is (*data gravity)* - Een sterke datacentermarkt geeft meer kans op gespecialiseerde dienstverlening, wat specialistischere clouddienstverlening makkelijker en goedkoper maakt	**Scope** - Als er meer capaciteit nodig is, dan eigen spullen **Agglomeratie** - Ja, want leidt tot meer verkeer en dus meer schaal nodig.	**Scale** - Zeer sterke effecten, want de dienstverlening wordt steeds efficiënter. **Scope** - Hybrid: tijdelijk situatie bij migratie. Verder alleen bij edge cases als een onderdeel van je diensten **Agglomeratie** - Algemene cloud acceptatie, waardoor de vraag naar alle diensten toeneemt

Bijlage 3. CBS-gegevens digitalisering sectoren

Onderstaande gegevens zijn afkomstig van de CBS-tabel "ICT-gebruik bij bedrijven; bedrijfstak, 2022".

	ICT/Soft-ware	CRM-Software		Mate van digitalisatie						Artificial Intelli-gence	Robotica	Verkoop
Sector	ERP-soft-ware	Opslag klantgege-vens	Analyse klantgege-vens	Niet gedi-gitaliseerd	Nauwelijks gedigitali-seerd	Gemiddeld gedigitali-seerd	Veel gedi-gitaliseerd	(Bijna) volledig gedigitali-seerd	Veel of (bijna) volledig gedigitali-seerd[16]	Gebruikt één of meer AI-technolo-gieën	Robot(s) Gebruikt	Verkoop via e-com-merce
C Industrie	65%	56%	28%	4%	9%	45%	29%	13%	42%	15%	23%	29%
F Bouwnijverheid	43%	42%	11%	5%	9%	43%	31%	12%	43%	7%	3%	8%
G Handel	56%	61%	43%	5%	8%	36%	31%	20%	51%	17%	5%	51%
H Vervoer en opslag	36%	41%	18%	11%	12%	42%	21%	14%	35%	11%	3%	26%
I Horeca	10%	24%	15%	17%	18%	40%	17%	8%	25%	5%	1%	46%
J Informatie en commu-nicatie	60%	80%	59%	1%	1%	11%	30%	57%	87%	37%	1%	22%
K Financiële dienstverle-ning	49%	74%	42%	4%	1%	13%	34%	48%	82%	30%	0%	21%
L Verhuur en handel van onroerend goed	56%	67%	28%	2%	2%	31%	33%	32%	65%	20%	0%	9%
M Specialistische zake-lijke diensten	45%	67%	33%	1%	2%	22%	32%	43%	75%	24%	3%	14%
N Verhuur en overige zakelijke diensten	34%	51%	26%	10%	8%	35%	24%	23%	47%	13%	3%	16%
Q Gezondheids- en wel-zijnszorg	31%	41%	12%	3%	6%	28%	35%	28%	63%	15%	2%	15%

[16] Optelling van "Veel gedigitaliseerd" en "(Bijna) volledig gedigitaliseerd", gemaakt door onderzoekers.

Bijlage 4. Overzicht O&I-ecosystemen

Wij hebben de beschikbare clusters op digitale intensiteit naast de Onderzoeks- en innovatie-ecosystemen gelegd. De O&I-ecosystemen zijn veel smaller dan de industrieclassificaties, maar gaan ook vaak over industrie-classificatiegrenzen heen. Dit is logisch, want de kracht van een dergelijk ecosysteem zit in de samenwerking tussen verschillende typen organisaties om te komen tot innovaties.

Om een classificatie toe te wijzen is gekeken naar de sector waarin de onderzoekers inschatten dat de grootste toegevoegde waarde van het O&I-ecosysteem ligt. Op basis hiervan kan een schatting worden gemaakt van de bijbehorende digitale intensiteit, met de kanttekening dat de overlap niet 100% is. De O&I-ecosystemen zijn tegelijkertijd smaller en breder en geen perfecte vertegenwoordiging van alle bedrijven in de sectoren, waarop de cijfers van CBS en theMETISfiles gebaseerd zijn.

ID	Cluster[1]	Label	Inhoudelijke focus	Regionaal zwaartepunt +/ regionale spreiding	Een illustratie van (15) spelers/namen
1	M	Big science	Internationale wetenschap-pelijke instrumenten, Subatomaire fysica	Nederland	CERN, NIKHEF (UT, RUG, RU, UU, VU, UvA), NWO-I, High Tech XL, Brightlands, ASML, VDL/ETG, Capable, van Halteren, Boessenkool, Amsterdam Scientific Instruments, Aircision, Dynaxion, NeCEN
2	C	Nieuwe materi-alen	Chemistry of Advanced Ma-terials	Nederland	AKZONOBEL, DOW, DPI, MESA+, M2i, NRK, VNCI, SKF, Tata Steel, CBPM, BMC, SAM con-sortium, TU Delft, RUG, Materialen-NL
3	C	Composieten	Luchtvaart (civiel +militair), automobielindustrie, satel-lieten	Den Haag, Marknesse, Woensdrecht, Enschede, Delft, Hoogeveen	Kuka, Siemens, Airborne, TU Delft, NLR, Lucht-macht, Demcon, Fokker, Flevobike, GKN, Polymer Science Park, DSM, GKN/Fokker Aero-structures, Composites-NL, WCCS, Toray
4	C	Circulaire Materi-alen	Hergebruik van metaal, bouwmateriaal, voedsel en plastics	Nederland, Drachten, Budel, Chemelot	Bouwend Nederland, PBL, Spark, Nyrstar, BAM, Dura Vermeer, Heijmans, TU/e, Fiberplast, Ioniqa, Black Bear Carbon, QCP, BTIC

5	C	Biobased Materials	Biobased Materials & recycling	Nederland, Zeeland, Noord-Brabant, Zuid-Holland, Heerenveen, Emmen, Chemelot, Rotterdam	Impuls Zeeland, Innovation Quarter, Provincie Zeeland,Senbis, Cumapol, TU/e, AMIBM, Incite, Biorizon, WUR , Advanced Research Center Chemical Building Blocks Chemie, Avantium, Havenbedrijf Rotterdam
6	C; M	Petrochemie	Olierafinage	Rotterdam + Amsterdam, Moerdijk, Chemelot, Terneuzen	Shell, DOW, Sabic, BP, Esso, TU Delft
7	D	Waterstof	(Groene) waterstof, waterstof als energiedrager, infra en toepassingen	Nederland, Rotterdam Groningen, Arnhem, Chemelot, Terneuzen	Air Liquide, Linde, VDL, Pitpoint, Remeha, Engie, Bredenoord, Vopak, Nouryon, Hygro, Hydron, Differ, Stork, Eekels, Enexis, Hydrogreenn netwerk Noord, TNO, Nedstack, Hyet Solar, DENS, JTI Fuel Cells, IPCEI Waterstof
8	C	Biobased Energie / Biobased fuels	Biobased Energie	Nederland	Dutch Biorefinery Cluster,Topell, Torr-coal, Biolake, Biotortech, Essent, EON, BTW, DHV Kema, WUR, provincies Gelderland en Overijssel, CoE Biobased Economy, Oost NL, Schiphol SkyNRG (kerosine), LNG, Differ, Yara, JTI Biobased Industries EU, KIC EIT InnoEnergy .
9	C	Groene en circulaire chemie	Proceschemie, groene chemie, circulaire chemie	Chemelot + Delft + Noord-Nederland / Delfzijl	DSM, Sabic, Mammoet, Stork, ENGIE, Air Liquide, Flowserve, Eurofiber, platform chemische recycling, Brightlands, Chemport Europe, Black Bear Carbon, Avantium en Corbion, Climate-KIC
10	C	Industrial biotech	Circulaire (industriële) processen	Nederland	RUG, Innolab Chemistry, Zernike NanoLab Groningen, BASF, Friesland Campina, Nouryon

11	C	Duurzame procestechnologie	Energie-efficientie industrie	Nederland, Groningen/Drenthe, Chemelot	Acordio, Akzo, Avantium, DOW, BASF, DOTx, DSM, RUG, Solsep, Zeton, Chemport Europe, Brightsite, Smart Delta Resources
12	C	Chemische conversie en procestechnologie	Chemische conversie naar o.a. energiedragers, materialen, chemicaliën, voedsel, Process Technology (incl. CCUS) and Synthesis	Chemelot + Nederland, Limburg, Groningen/Drenthe	Sabic, DSM, Avantium, Nouryon, Corbion, Port of Rotterdam, Ecofys, New Energy Coalition (NEC), Chemport Europe, CoE CHILL, Differ, Platform ECCM (Electrochemische Conversie en Materialen), Voltachem, ISPT, DPI
13	C	Katalyse	(Bio)katalyse, (bio)chemische conversie	Nederland	NIOK-VIRAN, Albemarle, Avantium, Sabic, Cabot Norit, Nouryon, Shell, UvA, BASF, Exxon Mobil, TU/e, TUD, UU, RUG, UT
14	C; D	Energieopslag	Energieopslag	Nederland	Battery Competence Center, Aquabattery, Wetsus, UT, WUR, Alliander, W&F Technologies, Alfen, Ateps, Bredenoord, Centrica, Deltawind, DNV GL, Differ, EnergieStock/HyStock, Ecosysteem Energy transitie Defensie, KWR
15	C; M; D	Solar energy/ PV	Zonnestroomtechnologie (PV, solar capturing)	Nederland	TU Delft, AMOLF, UU, TNO, Solliance, SiCC, SEAC, Empress, Levitech, Solland Solar, ECN, Differ/FOM
16	F	Civiele Techniek	Bouw(innovatie), Infra, Smart Grids, Installaties, verduurzaming	Nederland	Bouwend Nederland, Defensie Genie, 4TU-bouw, TNO, RVB, Heijmans, SPARK, Holland Pro Tech Con Tech, Ardadis, NEN, Remeha, RHCTP (europees), ABB, Net2Grid, Elaad, BTIC
17	D; C	Offshore constructies & energie	Ondersteuningsconstructies, Getijde-energie en zoet-zout, Offshore Wind / Windcentrale / logistiek / balance of plant	Rijnmond, Eemshaven, Zeeland, Nederland	Eneco, Boskalis, Siemens, Dong, TU Delft, TNO, REDstack, W&F Technologies, Bluewater, Deltares, Ocean Grazer, SIF Group, Huisman, Tennet, DNV-GL

18	M	Deltatechnologie	Deltatechnologie	Zuid-Holland + Nederland	Deltares, TNO, NWO, WUR, Universiteit Twente, CoE Deltatechnology / Hogeschool Zeeland, NL Ingenieurs, Sweco, Van Oord, Vereniging van Waterbouwers, BAM, Ploegam Innovatie, Witteveen en Bos, I&W (Rijkswaterstaat), Waterschappen, Natuurmonumenten
19	C; M	Maritiem	Maritieme technologie, Marinebouw (militair), Radartechnologie (militair)	Rijnmond, Drechtsteden, Groningen, Friesland, Vlissingen, Hengelo, Nederland	TU Delft, Hogeschool Rotterdam, Marinebouw Cluster, Defensie, Damen, Oceanco, Veth Propulsion, Ampelmann, McNetiq, MARIN, Thales, TNO, IHC, Royal Huisman, Nederland Radarland
20	C	Watertechnologie	Watertechnologie	Nederland, Leeuwarden, West, Noord	Wetsus, Royal HaskoningDHV, TNO, Stowa, IHE, TU Delft, WUR, RUG, UT, TU/e, UvA, VU en CEW, KWR, Deltares, Paques, CoE Watertechnology
21	A	Duurzame visserij	Duurzame kust- en zeevisserij (vistechnieken), en CO2-reductie Waddenvloot	Irseke, Urk, Katwijk, Scheveningen, Nederland	WUR, Deltares, Cooperatie Visserijorganisaties, NIOZ, FME, Damen, Breedenoord, Eekels TBI, TU Delft
22	C; M	Gezond Voedsel	Voeding	Wageningen + Nederland	WUR, Amsterdam UMC, Nutricia Research, Friesland Campina, Van Hall Larenstein, Magnioni, Unilever, Food Valley, WFC, DSM, Danone, Unilever, Avébé, WUR Glastuinbouw te Bleiswijk, DLV Improvement Centre
23	M	Eiwittransitie	De verschuiving van de consumptie van dierlijke eiwitten naar plantaardige en nieuwe eiwitbronnen. Protein, food- gestation,	Nederland, Wageningen	WUR, UMCG/RUG, AVEBE, COSUN, Provincie Flevoland, Albert Heijn, TiFN, PBL, Transitiecoalitie Voedsel, Provincie Overijssel, Smart Food Alliance, Green Protein Alliance, Protix, Vegetarische Slager, Mosameat, Oost NL, Start-Life

			kweekvlees, agronomics, food basics		
24	A	Sierteelt	Bollen, bloemen,	Zuid-Holland, Duin- en bollenstreek, Bleiswijk, Aalsmeer, Nederland	Greenport Aalsmeer, Greenport West-Holland, Greenport Duin- en Bollenstreek, WUR Glastuinbouw te Bleiswijk, DLV Improvement Centre
25	A	Plantveredeling & zaadtechnologie	Plantvermeerdering/veredeling en zaadtechnologie	Noord-Holland + Zuid- Holland, Wageningen, Hoorn, Enkhuizen, De Lier, Fijnaart, Emmeloord, Venlo	Greenport Horti Campus, Greenport Noord Holland Noord, Greenport Boskoop, Potato Valley, Future Farming Institute, BASF/Nunhem, Agri Information Partners, Wazera, Rijk Zwaan, Bejo, De Bolster, Monsanto, WUR, Agrico, HZPC, Tolsma
26	A; C; M	Voedseltechnologie	voedseltechnologie, precisielandbouw, precisiekassenteelt, precisieveehouderij, agrologistiek, drones, voedselvoorziening inclusief benutten van reststromen	Wageningen + Leeuwarden (Dairy Campus), Maassluis, Zuid-Holland, Bleiswijk, Naaldwijk, Boxmeer, Utrecht	WUR, TU Delft, alliantie WUR, UU, TU/e, StartLife, HAS Den Bosch, Lely, LTO, Fancom, Marel, Jansen Poultry Equipment, Ottevanger, Royal Duyvis Wiener, Bionext, Stowa, VBNE, Greenport Horti Campus, CoE's Agrodier/Open Teelten/Food/Greenports/Kenniscentrum Natuur en Leefomgeving, Van Iperen
27	Q	Langer gezond leven (+5 jaar) […]	Gezondheid, Big Data, Data-Infrastructuur, Monitoring	Nederland (adherentiegebied UMC's U's TU's, HBO's en MBO's en hun science parks)	Health RI (NFU), GO FAIR, VH, Pharos, RIVM, RSNN, NLAIC-G&Z, HANNN, GROZzerdammen/Fieldlabs/NL Gezondland, NLZVE, etc.

28	Q	Leefstijl en Leefomgeving	Preventie (voorkomen van ziekte[last]), via gedrag en leefomgeving (exposoom)	Nederland (adherentiegebied UMC's U's TU's, HBO's en MBO's en hun science parks)	Public Health Departementen UMC's, NCOH, NADP, AMR-Global, TopFit, I-JGZ, Lifestyle4Health (NILG), BTIC, BENEFIT, Microplastics and health, ORANGEHealth.NL, Alles is Gezondheid, NFU, etc.
29	Q	Zorg op juiste plek	Zorg in de leefomgeving (>50% thuis e.o.)	Nederland (adherentiegebied UMC's U's TU's, HBO's en MBO's en hun science parks)	IMDI, Hi-NL, Extramuraliseren, ICMS, e/MTIC, SPRONG, ELF, IMPROVE, MedTech voor een levenskrachtiger Nederland, NFU , etc.
30	Q	Mensen met chronische ziekten	Care (zorginnovatie) en cure, meedoen & ertoe doen	Nederland (adherentiegebied UMC's U's TU's, HBO's en MBO's en hun science parks)	Oncode Institute, RegMed XB, ELF, DCVA, P4O2, EMA, JTI Innovative Medicines, NeuroTechNL, hDMT, Metabolomics, TPI, Cluster Medical Robotics, G-MD-ETD, ImmuneHealthXL, BBoL, Dutch Biochip Alliance, e/MTIC, ICMS, NFU, etc.
31	Q	Mensen met dementie en hun mantel(zorgers)	Dementie en kwaliteit van leven	Nederland (adherentiegebied UMC's U's TU's, HBO's en MBO's en hun science parks)	Deltaplan Dementie, Memorabel, IMDI, hDMT, DusRa-Voila, NeuroTechNL, JAIN, ELF, TPI, NFU, etc.
32	M	Quantumtechnologie	Quantum (Computing)	Delft	TU Delft, QuTEch, LION, Microsoft, SURF, AMS-IX, RUG, TU/e, UvA, TNO, Yes Delft, FET Quantum Technologies
33	M	Fotonica	Optica en fotonica (excl. Semicon)	Nederland, Eindhoven, Nijmegen, Enschede	TU/e, TU Delft, TU Twente, TNO, PhotonDelta), Dutch Optics Centre, AMOLF, Camlin, ARCNL, Genexis, Philips, ASML, Photonis, Lionix
34	C	Nanotechnologie	Nanotechnology	Nederland, Brainport, Nijmegen, Enschede, Delft, Amsterdam, Groningen	NanonedXL, NXP, ASML, Thermo Fischer Scientific, Akzo Nobel, Frieslandcampina, Amolf, TU/e, UT, TU Delft, Synthon, Mimetas, Avantes, Helmholtz, Nanolab, PENTA Eurekacluster

35	C	Semicon	Semicon	Nijmegen, Eindhoven, Duiven	NXP, Ampleon, TNO, RU, TU Delft, TU/e, Chip Integration Technology Centre, Amolf, ASML, BESI, ASMI, NOVIO Tech, Nearfield Instruments, JTI ECSEL, Eureka PENTA
36	C	Printing	Printing	Brainport + Nederland	UT, TU/e, TNO, High Tech Systems Center, Philips, Océ, Addlabb, ASML, Ultimaker, 3Dhubs, RAMLAB, MX3D, Aectual, Brainport Industries, Additive Manufacturering Netwerk Defensie
37	C	Automotive	Automotive hardware	Brainport + Born, Eindhoven, Helmond, Deurne, Venray, Arnhem, Zwolle, Nederland	DAF, Inalfa, Bosch, VDL, Allego, DNV-GL, DEKRA, IPKW, SITA, Helmond Automotive Campus, Scania, Ebusco, Defensie Technology Center Land, Clean Mobility Center, Automotive Centre of Expertise
38	C	Ruimtevaart / Space	Space (behalve onderliggende high tech materials, zoals composites)	Noordwijk + Zuid-Holland, Nederland	Space Campus Noordwijk, Arceon, Airborne, ISISpace, Hiber, Celestia, TNO, NSO, ESTEC, SRON, Leiden Observatory, SpaceNED, Airbus, TU Delft, KNMI, LBSP
39	C	Luchtvaart	Ontwikkeling en onderhoud (civiel + militair)	Schiphol, Papendrecht, Woensdrecht, Gilze Rijen, Hoogeveen, Delft	Defensie, NLR, TU Delft, GKN/ Fokker, KMWR AVIOLANDA, AVANS, World class maintenance, Defensie/ Test Center Counter Unmanned Aerial Systems (C-UAS)/ Counter Drones, Robin Radar, JTI Clean Sky 2
40	C	High Tech Systems	High Tech Systems	Brainport + Nederland	HTCE, NXP, AMSL, Thales, Océ, ESI, Philips,Signify, Illuxtron, Lumnileds, Panalytical, Kendrion, Nedap, NTS, Prodrive, InnovatieClusterDrachten ICD, TU/e, UT, CoE HTSM (Fontys), Hightech XL, Novel T

41	C	Smart Industry	Digitalisering Industrie (o.m. AR/VR/data/ maatwerk/ onderhoud)	Nederland	TNO, Demcon, Philips, NOM, VMI Group,VDL, InnovatieCluster Drachten, BOOST, Campione, VU, SKF, Ijssel Technologie, EX Robotics,UT, BIC Campus
42	C	Sensoriek en meet- en detectietechnologie	Sensoriek en meet- en detectietechnologie	Nederland	TI-COAST, Corbion, DSM, Nouryon, Shell, Heineken, Cosine, MalvernPANalytical, Spektrax, RIWA, TNO, HAN, RUN, UvA, WUR
43	C	Robotica	Productie- , handling, autonome, robotica	Harderwijk, Veghel, Delft, Roermond, Breda	Vanderlande, AWL, VMI Group, TNO, ABB, Robovalley, Pharox, Robomotive, Thales, Unmanned Valley, VDL, TU/e, TU Delft, Field Lab Robotic Autonomous Systems (RAS),
44	H	Productielogistiek & Warehousing technology	Supply Chains	Brabant en Oost-Nederland	TU/e, Vanderlande, Brainport Industries, EU, Yaskawa, Rubix, KMWE
45	H	Smart Logistics	Smart (Data-driven) Logistics	Nederland, Rotterdam, Breda, KDC's wo Venlo	Sligro, Suez, EvoFenedex, LIOF, Provincie Limburg, Fontys Hogeschool Venlo Logistiek en Techniek, BlackBo Robotics, Logistics Community Brabant (LCB), Midpoint Brabant, JADS, KDC Logistiek, Jan de Rijk, Quicargo, Shypple
46	H	Smart mobility	Smart mobility, AI, mobiliteit, duurzaamheid	Amsterdam, Utrecht, Rotterdam, Gouda, Den Haag, Eindhoven, en Groningen	TomTom, Here, RWS, Connekt, Hyperloop, TU Delft, TNO, Radboud, PON, ANWB, NS, JTI Shift2Rail, KIC EIT Urban Mobility
47	H	Havenlogistiek	Haven (als exportproduct)	Rotterdam	Port of Rotterdam, EUR, Gemeente Rotterdam, Deltalinqs, Havenbedrijf Rotterdam, RNE, TNO, STC Groep, PORT XL
48	J; M	Artificial Intelligence	AI, Big Data	Nederland	Nederlandse AI Coalitie (NLAIC), CWI, Philips, ICAI, JADS, Brainport, White Space Energy, SeedLink, KNVI, Politie Lab AI, Birds.AI, Growtribe, Datadeelcoalitie, Booking.com,

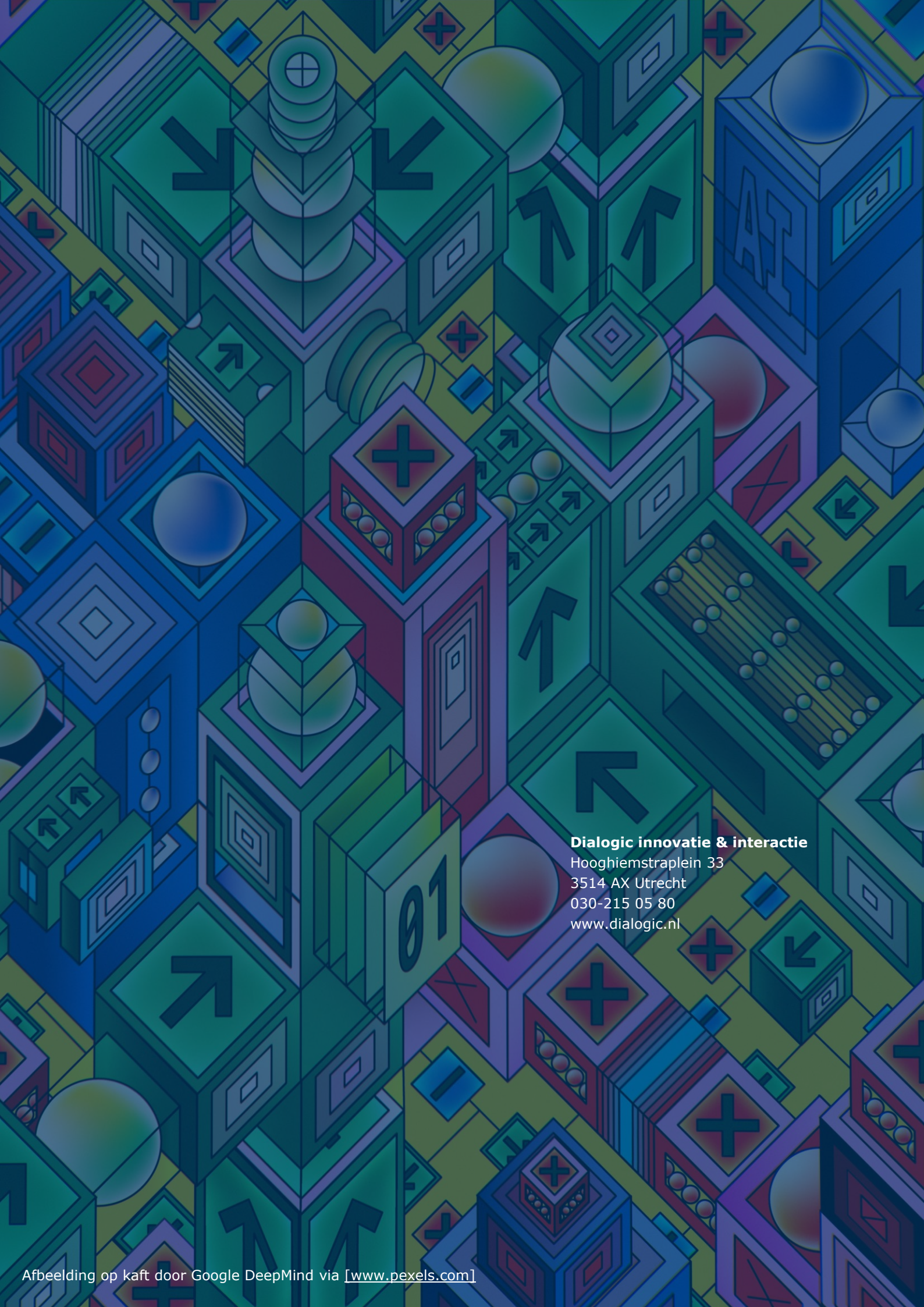
					ELLIS, CLAIRE, Hybrid Intelligence Centre, IN-GLab, dutch digital delta, Expertisecentrum AI i.o. / Hogeschool van Amsterdam
49	J; M	(Cyber)security	Samenwerkingsplatform Cyber security Nederland	Nederland, Den Haag, Delft, Amsterdam	Dcyper, Cyber Security Expertise Centrum Noord, MKB Cybercampus, Hague Security Delta, SURF, CoE Cyber Security / Haagse Hogeschool, TU Delft, Universiteit Leiden, Til-burg University, RUG, Twente Safety Campus, HackerOne, Defensie Cyber Innovation Hub, Fox-IT, Hunt & Hackett
50	O; M	Smart cities - datagedreven bestuur	Slim datagedreven openbaar bestuur (Smart City)	Nederland	ATOS, ESRI, Gemeenten, CBS, VNG, Technolu-tion, Saxion, UU, UvA, TU/e, Smart Services Hub, Belastingdienst, Brainport Smart District, CoE Smart sustainable cities / Hogeschool Utrecht
51	J	Blockchain	Fintech, SSI, Logistiek, diploma's, pensioen, compli-ance by design	Nederland, Groningen Am-sterdam, Heerlen	ING, Port of Rotterdam, Provincie Zuid-Hol-land, PWC, VISMA, CWI, Haagse Hogeschool, Smart Services campus Heerlen, Dutch Block Chain Coalition, Fivedegrees, IntresicID, CoE Blockchain Lab i.o. / Hogeschool Utrecht, Or-dina, Rubicon, NEN
52	J	Communicatie-technologie	Beyond 5g, Telecom	Nederland	KPN, Vodafone, Ericson, RUG, TU/e, KIC EIT Digital, CM, Messagebird
53	J	Gaming	Gaming, VR	Amsterdam + Utrecht, Breda, Tilburg, Rotterdam	Dutch Game Garden, Dutch Games Associa-tion, Guerilla Games, Nixxes, Active Cues, XVR Simulation, Grendel Games, Ranj, Vertigo, HKU, UU, BUAS, HvA, Defensie/ Telepresence en Defensie/Simulatie Battlelabs

54	M; J	Design	Product design, digital design, fashion, architecture, interactive design, gaming, industrieel ontwerp, kunsten	Nederland, Amsterdam, Eindhoven, Utrecht, Arnhem, Rotterdam, Hilversum	HvA, Design Academy, ArtEZ, Netwerk Digitale Simulaties, Dutch Design Foundation, Total Design, Renault, EHV 365, NS, VSBfonds, VPRO, ELLE Decoration, Bright, Dude, Dutch Design Daily, MediaMonks, CoE Amsterdam Creative Industries Network
55	R	Cultureel erfgoed	Data, AI en collecties, beeldherkenning audiovisuele collecties, historische kennis/structuren inzetten voor klimaatadaptie, degradatieprocessen in kunst en historisch materiaal delen	Nederland	Bookarang, Picturae, Spinque, Seecr, Arcadis, Royal HaskoningDHV, universiteiten, Raad voor Cultureel Erfgoed, Erfgoedplatform, Nederland Monumentenland, STOWA, Deltares, JPI Cultural Heritage and Global Change, EHRISH, diverse musea, ateliergebouw, Nederlands Instituut voor Beeld en Geluid, Nationaal Archief, Koninklijke Bibliotheek.
56	P	Onderwijs- en kennisontwikkeling	Onderwijsmiddelen, wetenschappelijke literatuur, uitgevers, ICT	Nederland	VO-Raad, PO-Raad, NRO (Kennisrotonde), RelX, Cito, WoltersKluwer, SURF, EdTechNL, Squla, Wizenoze, GrowthTribe, Knowingo, STU Delftytube, STU Delftyportals, STU Delftocu, Edumundo

Bron: Dialogic [41]

Noot:

[1] Cluster op 1e digit SBI-niveau is toegevoegd voor koppeling met de sectorcijfers op de voor gebruik ICT-toepassingen (CBS) en digitale werkgelegenheid (theMETISfiles). Omdat deze koppeling doorgaans niet zo eenduidig te maken is, is gekozen om primair de sector te selecteren waarin de meeste toegevoegde waarde zich bevindt naar inschatting van de onderzoekers.



Dialogic innovatie & interactie
Hooghiemstraplein 33
3514 AX Utrecht
030-215 05 80
www.dialogic.nl

Afbeelding op kaft door Google DeepMind via [www.pexels.com]