

Reken er maar (niet meer) op:

de digitale infrastructuren voor onderzoek
2027-2035



Management-samenvatting

In dit rapport *Reken er maar (niet meer) op: de digitale infrastructuren voor onderzoek 2027-2035* beschrijven de Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) en SURF de huidige stand van de digitale infrastructuur voor onderzoek. Op basis van een brede inventarisatie en internationale benchmarks wordt geconcludeerd dat nu actie nodig is om hoogwaardig onderzoek in Nederland te kunnen houden. Daarom adviseren NWO en SURF het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap en het aankomende kabinet om structureel 165 miljoen euro er jaar extra te investeren in de digitale infrastructuren voor onderzoek.

Het laatste advies¹ dateert uit 2017 en sindsdien hebben de digitale ontwikkelingen niet stilgestaan. De behoefte van gebruikers is gegroeid en de kosten voor onder andere energie, chips en menskracht zijn enorm toegenomen. Desondanks heeft er jarenlang geen of slechts beperkte inflatiecorrectie plaatsgevonden. Hierdoor is Nederland ten opzichte van andere Europese landen flink achter gaan lopen. Zo zakte Nederland op de Europese supercomputing-ranglijst van de zevende naar de twintigste plek (zie figuur 5.2.1). Nederland heeft het punt bereikt dat er snel extra investeringen nodig zijn. Als investeringen uitblijven zullen bepaalde componenten van de infrastructuur uit Nederland verdwijnen, met alle gevolgen van dien voor het Nederlandse (wetenschappelijke) vestigingsklimaat.

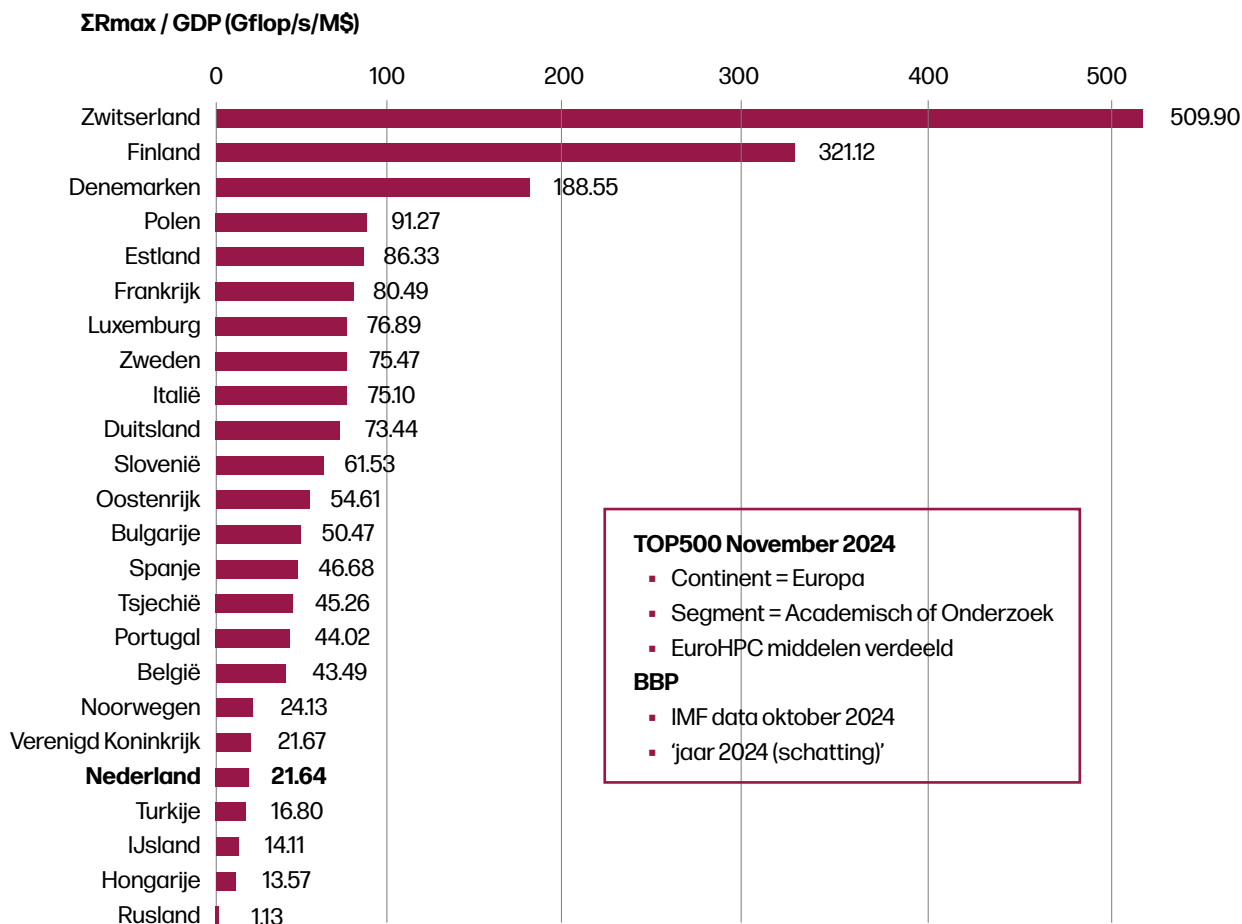
Een digitaal fundament

Het onderzoek van nu vormt de basis voor ons verdienvermogen van morgen en biedt antwoorden op maatschappelijke vraagstukken. Zonder digitaal fundament staat onze kenniseconomie echter op losse schroeven. Digitale infrastructuren zijn vaak onzichtbaar, maar absoluut onmisbaar. Netwerken

voor datatransport, rekenfaciliteiten, software en faciliteiten voor gegevensopslag stellen onderzoekers in staat om lokaal, nationaal en internationaal samen te werken, data te delen en complexe analyses te maken om zo tot nieuwe inzichten en doorbraken te komen. Met de toegenomen afhankelijkheid van geavanceerde digitale infrastructuren is er bovendien meer behoefte aan ondersteuning door experts.

Onderzoekers uit alle disciplines werken immers meer dan ooit multidisciplinair samen - met grote en complexe datasets - om tot nieuwe inzichten en doorbraken te komen, tussen instellingen en wereldwijd. De groep die afhankelijk is van geavanceerde digitale infrastructuren is de afgelopen jaren sterk gegroeid. Daardoor hebben ze behoefte aan snellere netwerken, meer en veiligere dataopslag en krachtigere computers voor hun analyses. Daar bovenop komt de ongekende impact van disruptieve technologieën als AI, cloud- en quantum-computing en virtual reality. Dit zorgt ook voor een grotere behoefte in ondersteuning door experts bij het gebruik van de infrastructuren, zeker bij domeinen die hiervan niet van oudsher gebruik maken.

¹ Topwetenschap vereist topinfrastructuur, juni 2017



Figuur 5.21: Positie van Nederland (november 2024) in de TOP500 ranglijst van Europese HPC-systemen, omgerekend naar Bruto Binnenlands Product (BBP).

Nederland raakt echter internationaal achterop. Op korte termijn is de capaciteit van de Nederlandse digitale infrastructuur ontoereikend voor het Nederlandse onderzoek. Infrastructuren raken verouderd en hebben onvoldoende capaciteit om (voldoende) onderzoekers op kwalitatief hoogwaardig niveau te ondersteunen.

Benodigde investeringen

Wie op wereldniveau concurrerend wil blijven in wetenschap en innovatie en daarmee zijn toekomstig verdienvermogen wil veiligstellen, moet fors investeren in de digitale infrastructuur die deze ontwikkelingen faciliteren en aanjagen. Draghi roept in het rapport *The future of European competitiveness*² op om onder

andere te investeren in krachtige supercomputers (High Performance Computing) en dataopslag.

Voor dit adviesrapport is gekeken naar internationale benchmarks en (eerdere) inventarisaties naar de behoefte van instellingen en gebruikers. Zo is het advies totstandgekomen om jaarlijks structureel 165 miljoen euro extra te investeren in de digitale infrastructuur voor onderzoek. Deze investeringen zijn nodig voor:

1. nationale digitale infrastructuur voor onderzoek (51,5 M€ extra) om ze terug op niveau te brengen zodat ze de Nederlandse wetenschappelijke ambities kunnen faciliteren en zodat Nederland de aansluiting in Europa kan hervinden;

² [The Draghi report on EU competitiveness](#)

2. lokale faciliteiten (63,5 M€ extra) om te zorgen dat het hele ecosysteem goed op elkaar blijft aansluiten om in de behoeften van de onderzoekers te blijven voorzien;
3. de digitale infrastructuur voor data-intensief onderzoek (50,0 M€ extra) om te voorzien in de capaciteitsbehoefte van data-intensief onderzoek.

Het betreft investeringen in nationale en lokale reken-faciliteiten, dataopslag- en netwerkinfrastructuur, Authenticatie en Autorisatie Infrastructuren (AAI) en security, én in aansluiting van de Nederlandse infra-structuren bij internationale samenwerkingsverbanden zoals Europese reken- en AI-faciliteiten.

Overige adviezen

Gezien de snelle ontwikkelingen in digitalisering adviseren we de overheid om over te gaan tot een periodieke herijking, met aandacht voor nieuwe technologische ontwikkelingen, de behoeften van Nederlandse

wetenschappers en een internationale benchmark. Het is cruciaal om ook tijdig te bezien hoe infrastructu-uren die met impulsfinanciering een stimulans hebben gekregen een structurele plek kunnen krijgen in het bestel. Denk aan de AI-fabriek en de quantum-computer, maar ook aan lokale en domeinspecifieke digitale infrastructuren die nu met opeenvolgende projectfinanciering overeind worden gehouden. Daarnaast adviseren we om in kaart te brengen welke aanpalende componenten - zoals open science infra-structuren, digitale infrastructuren voor praktijkgericht onderzoek en ondersteuning en expertise hiervoor - een structurele plek in het bestel moeten krijgen.

Tenslotte adviseren we om samen met de sector in kaart te brengen welke digitale infrastructuren zodanig cruciaal zijn of anderszins risico's opleveren dat er in het licht van soevereiniteit andere keuzes overwogen moeten worden.

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	3
Inhoudsopgave	7
01 Inleiding	8
02 Wetenschappelijke behoefte	10
03 Internationale context	13
04 Investeringsbehoefte	15
05 Onderbouwing investeringsbehoefte	20
5.1 Datavoorzieningen	20
5.2 Rekenvoorzieningen	24
5.3 Netwerk, toegang en veiligheid	29
5.4 Expertise en ondersteuning	34
5.5 Internationale participaties in digitale infrastructuur	37
5.6 Vernieuwing	39
5.7 Totale investeringen	41
06 Conclusies en aanbevelingen	42
Appendix A. Scope van dit rapport	44
Appendix B. Afkortingen	46
Appendix C. Geconsulteerde partijen	48

01

Inleiding

Digitale infrastructuren zoals netwerken voor datatransport, rekenfaciliteiten, software en faciliteiten voor dataopslag vormen de ruggengraat van modern wetenschappelijk onderzoek, innovatie en productiviteit. Ze stellen onderzoekers in staat om lokaal, nationaal en internationaal samen te werken, data te delen, en complexe berekeningen uit te voeren op grote datasets. Om gebruikers te laten profiteren van de laatste ontwikkelingen in hardware, software en toepassingen, is continue innovatie en doorontwikkeling van bestaande infrastructuren cruciaal. Waar voorheen hoofdzakelijk bètawetenschappers veel gebruik maakten van digitale infrastructuren, zijn ze inmiddels onontbeerlijk voor alle wetenschappelijke domeinen, inclusief de sociale en geesteswetenschappen. Niet voor niets roept Mario Draghi in het rapport [The future of European competitiveness](#)³ op om onder andere te investeren in krachtige supercomputers (High Performance Computing) en dataopslag.

Paradigmaverschuivingen

Opeenvolgende paradigmaverschuivingen veranderden de manier van wetenschap bedrijven en versnellen het proces naar nieuwe wetenschappelijke inzichten en innovatieve toepassingen. Door de opkomst van computationele wetenschap en data-intensieve methodologieën werd het mogelijk om grote datasets te analyseren en om datagedreven onderzoek te doen. Nu zorgt kunstmatige intelligentie (AI) voor een nieuwe paradigmaverschuiving naar modelgedreven wetenschap: volgens een recent *Nature* rapport over AI for Science⁴ is er sprake van een transformatief onderzoeksparadigma, waarin (generatieve) AI niet alleen ondersteunt, maar ook actief bijdraagt aan wetenschappelijke ontdekkingen. Volgens dit rapport versnelt AI het wetenschapsproces door een rol te

spelen bij het genereren van hypothesen, bij het opzetten van geautomatiseerde intelligente experimenten, bij het bouwen van modellen, en bij het bevorderen van interdisciplinaire samenwerking.

Ook in het tijdperk van AI blijven de computationele wetenschappen en data-intensieve methodologieën in combinatie met grootschalige digitale infrastructuur de basis. Deze vormen immers het fundament onder de AI-modellen die modelgedreven wetenschap mogelijk maken.

Fundament voor de kenniseconomie

Het wetenschappelijk onderzoek van nu vormt de basis van ons verdienvermogen van morgen en biedt antwoorden op maatschappelijke vraagstukken.

³ [The Draghi report on EU competitiveness](#)

⁴ [AI for Science 2025](#)

Zonder digitaal fundament staat onze kenniseconomie echter op drijfzand⁵. Wie op wereldniveau concurrerend wil blijven in wetenschap en innovatie moet fors investeren in de digitale infrastructuren die deze ontwikkelingen faciliteren en aanjagen: toegang tot digitale infrastructuren is voor veel onderzoekers allang geen *nice-to-have* meer, maar een *must-have*, op zowel lokaal, nationaal als internationaal niveau.

Tegen deze achtergrond van disruptieve digitale ontwikkelingen – en tegen de achtergrond van recente geopolitieke ontwikkelingen die vragen om meer inzet op weerbaarheid en autonomie – beschrijft dit rapport de noodzaak en urgentie om extra te investeren in digitale infrastructuren voor onderzoek op lokaal en nationaal

niveau, én om Nederlandse onderzoekers toegang te bieden tot internationale faciliteiten die de investeringsmogelijkheden van ons land alleen te boven gaan.

Naast investeringen in hardware en software zijn ook aanzienlijke investeringen nodig om de adoptie te ondersteunen van nieuwe en bestaande technologieën om nieuwe gebruikers uit andere wetenschapsgebieden dan voorheen te ondersteunen. Zonder additionele structurele investeringen moeten harde keuzes gemaakt worden. Dit leidt ertoe dat onderdelen van de digitale infrastructuur uit Nederland verdwijnen, met alle gevolgen van dien voor het Nederlandse (wetenschappelijke) vestigingsklimaat.

⁵ Innovatiebeleid (33.009); brief regering: 'Investeren in een weerbare en toekomstbestendige economie: het 3%-R&D-actieplan' (TK, 165) - Eerste Kamer der Staten-Generaal

02

Wetenschappelijke behoefte

Het wetenschappelijk onderzoek van nu is de basis van ons verdienvermogen van morgen, terwijl het ook antwoorden kan bieden op maatschappelijke vraagstukken. Moderne wetenschap is vaak datagedreven en wordt – met de toepassing van AI – in toenemende mate modelgedreven. AI versnelt het wetenschapsproces door een rol te spelen bij het genereren van hypothesen, bij het opzetten van geautomatiseerde intelligente experimenten, bij het bouwen van modellen en bij het bevorderen van interdisciplinaire samenwerking. De nauwkeurigheid van AI-modellen hangt af van de training van deze modellen. Deze training is datagedreven en wordt dus grotendeels bepaald door hoeveelheid en de beschikbaarheid van data, de dataopslagcapaciteit en de beschikbare rekencapaciteit.

Datagedreven wetenschap vraagt om betrouwbare opslag en om uitwisseling en verwerking van onderzoeksdata en onderzoekssoftware volgens FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable) principes. Samenwerking en uitwisseling van kennis en technologie zijn hierbij essentieel, en daarmee is er dus ook een grote behoefte aan ondersteuning en technologische hulpmiddelen op het gebied van (FAIR) onderzoeksdata, (FAIR) onderzoekssoftware en computing.

Deze manier van wetenschap bedrijven vereist een stevig fundament van digitale infrastructuur waarop wetenschappers kunnen bouwen met hun onderzoek: (i) netwerken voor datatransport vanuit grote onderzoeksfaciliteiten of om samenwerking op afstand te faciliteren, (ii) rekenfaciliteiten voor het analyseren en modelleren van en simuleren met data, (iii) datavoorzieningen voor veilige en duurzame dataopslag, (iv) infrastructuur die

een veilige toegang tot data of onderzoeksfaciliteiten faciliteren, (v) applicaties en herbruikbare software én (vi) expertise en ondersteuning om deze infrastructuren goed te kunnen gebruiken en duurzaam datamanagement in te richten.

Het is niet efficiënt en effectief, laat staan veilig of duurzaam, als iedere onderzoeker zijn eigen data-infrastructuur en software moet bouwen en onderhouden. Reken- en netwerkvoorzieningen kunnen überhaupt niet op individueel, domein- of soms zelfs lokaal of landelijk niveau georganiseerd worden. Daarom is er een heel ecosysteem van infrastructuur op lokaal, nationaal en internationaal niveau dat op elkaar aansluit om de onderzoekers te faciliteren⁶. Sommige infrastructuren, zoals het netwerk, worden door alle wetenschappers gebruikt; andere infrastructuur, zoals een nationale supercomputer, zijn nodig voor een groeiende groep high-end users, die de kosten daarvoor niet alleen kunnen dragen. Daarom worden deze infrastructuur op installations-, domein- en nationaal niveau georganiseerd en gefinancierd met bijdragen vanuit de overheid, instellingen en projecten.

Met de omarming van AI zal er een veel grotere groep wetenschappers behoefte krijgen aan rekenfaciliteiten. De AI-faciliteit die gebouwd gaat worden⁷, is voornamelijk beschikbaar voor training en finetuning van wetenschappelijke modellen, en minder voor het daadwerkelijke gebruik van de modellen. De behoefte aan rekencapaciteit voor het grootschalig (generatief) toepassen van AI-modellen zal alleen maar toenemen.

Grote investeringen in digitale onderzoeksinfrastructuur worden pas waardevol als zij nuttig gebruikt

⁶ <https://www.universiteitenvanederland.nl/files/publications/SPII%20Deel%201%20Versie%201.0.pdf>

⁷ Ingediende voorstel is goedgekeurd door EuroHPC in oktober 2025

worden en als de mogelijkheden optimaal benut worden. Dat vereist visie, expertise en afspraken op velerlei gebied: systeembeheer, tools, applicatiekennis, optimalisatie- en parallelisatie-expertise, (efficiënt) gebruik van processoren, training, et cetera. Er is binnen de instellingen op lokaal niveau en op nationaal niveau sterke behoefte aan expertise die het gebruik van de infrastructuur niet alleen bevordert maar ook rendabel maakt. De combinatie van High Performance Computing en AI-modellen versterkt die behoefte. In toenemende mate is er behoefte aan meer ondersteuning bij het opzetten van programmeercursussen en trainingen op het vlak van nieuwe digitale technologieën. Ook internationaal staat de urgentie van het financieren, erkennen en inrichten van adequate ondersteuning van wetenschappers hoog op de agenda, evenals het belang van onderzoekssoftware voor digitale infrastructuur.⁸

Veel algemene ICT-eisen en -uitdagingen zijn hetzelfde of lijken sterk op elkaar, ongeacht het onderliggende wetenschapsgebied.⁹ Dit biedt de mogelijkheid tot het ontwikkelen van bouwblokken en oplossingen die inzetbaar en bruikbaar zijn voor zoveel mogelijk verschillende disciplines en gebruikers. Voorbeelden zijn eenduidig access management tot de infrastructuur, gebruik van verschillende opslagtechnieken, en toegang tot software en tools. Grote wetenschappelijke instrumenten gebruiken deze standaardisering reeds binnen hun eigen discipline. Zo wordt geïnvesteerd in Research Infrastructure Commons waarin beperkte IT-resources aangewend worden voor deelbare bouwblokken binnen en over de grenzen van onderzoeksdisciplines.

Knelpunten en urgentie

Onder wetenschappers is er een groeiende behoefte aan digitale infrastructuur voor onderzoek en aan ondersteuning bij het gebruik ervan. Van 2022 tot 2024 is het gebruik van de nationale supercomputer Snellius bijvoorbeeld bijna verdubbeld. Tegelijkertijd is het met het oog op onze concurrentiepositie en als gevolg van geopolitieke ontwikkelingen steeds belangrijker om de

weerbaarheid en autonomie van de sector te vergroten, ook in relatie tot de digitale infrastructuur die het fundament vormen onder onze kenniseconomie.

Ondanks deze groeiende behoefte zijn de nationale budgetten al sinds 2019 nauwelijks gestegen en is deelname aan Europese faciliteiten elke keer weer een uitdaging, met de laatste jaren vaak als uitkomst *too-little-too-late* ondanks de inspanningen van alle betrokkenen. Ook lokaal bij instellingen en de domeingerichte infrastructuur staan de budgetten door de forse bezuinigingen van het afgelopen kabinet onder druk. Waar Nederland zich voorheen kon meten met de wereldtop, is dat al enige tijd niet meer het geval.⁹ Wetenschappers lopen binnen Nederland tegen grenzen aan. In internationale samenwerkingen kunnen ze een steeds kleinere bijdrage leveren aan de benodigde infrastructuur, waardoor ze hun invloed verliezen. Data- en infrastructuurhubs ontstaan nu in landen als Finland en Polen; dataverzamelingen en uiteindelijk kennis en expertise trekken daarmee langzaam weg uit Nederland.

Parallel aan de groeiende behoefte zijn de kosten de afgelopen jaren flink gestegen. Inflatie zorgde voor aanzienlijk hogere energie- en personeelskosten, terwijl AI en slimme apparaten zorgen voor een grote mondiale vraag naar computerchips, en daarmee stijgende prijzen. Tenslotte vereisen digitale dreigingen en compliancy met nieuwe wetgeving zoals de AI-act en de cyberbeveiligingswet¹⁰ extra investeringen om alle digitale infrastructuur veilig te houden.

Dit alles resulteerde niet in een evenredige inflatiecorrectie van de overheidsinvesteringen, laat staan dat deze in lijn zijn gebracht met vergelijkbare landen. Dit betekent feitelijk achteruitgang, waarbij Nederland nu op het punt is gekomen dat er óf snel extra investeringen gedaan moeten worden, óf dat er gekozen moet worden tussen componenten van de infrastructuur (bijvoorbeeld een grote supercomputer versus instandhouding of uitbreiding van expertise).

⁸ Jensen & Katz, 2025, *Evolving funding strategies for research software: Insights from an international survey of research funders*: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0329833>

⁹ Zie figuur 5.2.1

¹⁰ Europese AI-act goedgekeurd - Digitale Overheid, NIS2-richtlijn NIS2-richtlijn - Digitale Overheid

Lokaal bij kennisinstellingen en bij data-intensieve onderzoeksverbanden, zoals de grootschalige wetenschappelijke infrastructuren (GW's), speelt er nog een ander probleem: hoewel moderne wetenschap en open science nieuwe eisen stellen aan duurzaamheid, herbruikbaarheid van data, reproduceerbaarheid van onderzoeksresultaten en transparante en verantwoordelijke AI-toepassing in onderzoek, ontbreekt er continuïteit in de financiering van het faciliteren hiervan. Onderzoekers bewegen van subsidie naar subsidie, van project naar project, en in een zeer gespannen arbeidsmarkt kunnen met projectfinanciering nauwelijks goede experts blijvend worden aangetrokken.¹¹ Het is belangrijk om te investeren in lokale digitale infrastructuren en begeleiding in het gebruik hiervan middels carrièrepaden voor *datascientists*, *research software engineers* en andere expertises bij kennisinstellingen. Daarnaast moeten computationele vaardigheden van

wetenschappers zelf worden erkend en gestimuleerd. Aangezien er op nationaal niveau onvoldoende capaciteit is om de alsmaar groeiende vraag te ondersteunen en het bovendien niet schaalbaar is om alle support nationaal te organiseren, is het van belang dat computationele expertise ook aanwezig is binnen teams op lokaal niveau.

Dit document richt zich vooral op de technische aspecten van de digitale onderzoeksinfrastructuur. In toenemende mate komen de resultaten die met de digitale onderzoeksinfrastructuur behaald worden beschikbaar in de maatschappij. Een typisch voorbeeld is het gebruik van High Performance Computing op het gebied van medische beeldvorming in de academische ziekenhuizen. Zonder de mogelijkheid tot experimenteren in een onderzoeksomgeving is veilig gebruik van nieuwe technologie in het maatschappelijk veld onmogelijk.

¹¹ UMCNL (NFU), Versnellen op gezondheid, datagedreven innovatie, p.67 (NFU_23.00292_Sectorplan_230223.pdf)

03

Internationale context

Op Europese schaal zijn er initiatieven als EuroHPC (in samenwerking tussen lidstaten grote reken- en AI-faciliteiten opzetten) en EOSC (onderling verbinden van wetenschappelijke data-collecties), waarbij ook een substantiële bijdrage vanuit de lidstaten zelf nodig is. Door de huidige financieringsmethodiek is de Nederlandse participatie de laatste jaren te laat en te beperkt geweest. Dit vraagt om een andere aanpak. Enerzijds moet de – tot nu toe tijdelijke – financiering voor Europese participatie integraal onderdeel worden van de structurele financiering (zie paragraaf 5.5). Anderzijds is het nodig dat besluitvorming over deelname aan nieuwe initiatieven sneller gaat. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd middels een nog op te richten nationaal infrastructuurfonds voor digitale infrastructuren. Alleen door vroegtijdig in een consortium te stappen en significant bij te dragen kunnen Nederlandse organisaties mede de richting bepalen, en Nederlandse onderzoekers optimaal laten profiteren van deze grootschalige digitale infrastructuren.

Concurrentiepositie van Nederland

Naast de grootschalige Europese faciliteiten voor wetenschap zijn er ook nationale en lokale reken-, netwerk- en datafaciliteiten nodig om wetenschappers laagdrempelig te faciliteren in hun onderzoek. Internationale samenwerking is zeer gewenst, maar totale afhankelijkheid van toegang tot internationale voorzieningen is ongewenst. Toegang tot digitale infrastructuur is voor veel onderzoekers allang geen *nice-to-have* meer, maar een *must-have*, en nationale en lokale compute- en datafaciliteiten moeten een toegankelijke en schaalbare oplossing bieden voor gebruikers. Daarnaast fungeren lokale en nationale systemen in het Europese ecosysteem als cruciale traptreden voor het opschalen van onderzoek. Zonder deze treden zijn de schaalessprongen mogelijk te groot.

Het is bovendien cruciaal om in eigen land de expertise te hebben en te behouden om met state-of-the-art digitale infrastructuur te werken: uiteindelijk moeten we ook onze eigen concurrentiepositie in Europa en in de wereld versterken door onder meer technologie (mede) te ontwikkelen en human capital te behouden.

Veel landen investeren fors in hun digitale infrastructuur voor onderzoek, terwijl Nederland de laatste jaren – ondanks recente tijdelijke impulsen voor nieuwe technologieën als quantum computing en AI – achterblijft. Het resultaat is dat we nu qua investeringsniveau en als gevolg daarvan qua beschikbare capaciteit onderaan de internationale lijstjes bungelen.¹² En dat waar Nederland zich voorheen kon meten met de wereldtop. Andere landen zetten expliciet in op het verstevigen van hun wetenschappelijke en economische concurrentiepositie: zo zet Finland met LUMI in op een sterke positie in reken- en AI-faciliteiten, stimuleert Frankrijk de ontwikkeling van Europese cloudbedrijven en internetknooppunten in eigen land, en zet Zweden samen met andere Noordse landen via NORDUnet in op het realiseren van nieuw intercontinentaal glasvezelverkeer richting Japan.

Ook op het gebied van de ontwikkeling van onderzoekssoftware en -toepassingen is het essentieel dat Nederlandse instellingen binnen de EU-context voldoende middelen beschikbaar hebben om substantieel te participeren en waar gewenst een leidende rol te vervullen. Immers, state-of-the-art hardware kan enkel ten volle benut worden door middel van de juiste software en de beschikbaarheid van expertise. In Europese samenwerkingen gebruiken we elkaars expertise waar de eindgebruiker van profiteert.

¹² Zie figuur 5.2.1.

Als de Nederlandse achterstand in investeringen niet gerepareerd wordt, worden we aan alle kanten ingehaald en verliezen we de voordelen van onze huidige internationale hubfunctie als internetknooppunt. Dat gaat ten koste van het wetenschappelijke en – op langere termijn – economische vestigingsklimaat en het toekomstig verdienvermogen van Nederland. Tijdige en structurele investeringen in zowel nieuwe als bestaande technologieën voor gebruik door de wetenschap zijn dus cruciaal, en ze hebben ook duidelijke spill-over-effecten voor ons economisch vestigingsklimaat.¹³

Geopolitieke ontwikkelingen, weerbaarheid en autonomie

Draghi stelt dat Europa de digitale revolutie, aangevoerd door het internet, en de productiviteitsgroei die deze met zich meebracht, grotendeels gemist heeft. De productiviteitskloof tussen de EU en de VS is vooral te verklaren door het verschil in ondernemerschap en innovatievermogen van de technologiesector.¹⁴ In een veranderende geopolitieke context zijn onze afhankelijkheden geworden tot kwetsbaarheden: derden kunnen met een druk op de knop onze samenleving en economie ontwrichten.

Dit geldt ook voor de onderzoekssector. Het is hoog tijd om de weerbaarheid en autonomie van de sector te vergroten, ook in relatie tot de digitale infrastructuur die het fundament van onze kenniseconomie vormen. Ook daarom is het belangrijk om bepaalde digitale infrastructuur voor onderzoek en de benodigde expertise en ondersteuning in eigen land te behouden.

¹³ Evaluatie ICES/KIS-2 (2008): Dit rapport evalueerde de FES-investeringen en concludeerde dat investeringen in de infrastructuur voor de academische wereld eraan bijdroegen dat Nederland een belangrijk knooppunt is geworden voor ICT-gerelateerde onderzoeksfaciliteiten. Het rapport concludeerde dat investeringen in de digitale infrastructuur (GigaPort, WTCW) een belangrijke meerwaarde hadden voor de Nederlandse kennisinfrastructuur en een goed economisch rendement opleverden (p.vii, 9, 10, 12, 14, 15, 19 etc.).

¹⁴ The Future of European Competitiveness, Part A, p.5

04

Investeringsbehoefte

Er is structureel een bedrag van 165 M€ per jaar *extra* nodig bovenop de bestaande budgetten om de huidige digitale infrastructuur voor onderzoek op een aanvaardbaar niveau te brengen. Zonder deze aanvullende investeringen zakt Nederland door een kritieke ondergrens: dan moeten er harde keuzes gemaakt worden, waardoor bepaalde infrastructuren mogelijk uit Nederland verdwijnen en/of zo klein worden dat competitief onderzoek niet meer mogelijk is. Dat zou een klap zijn voor wetenschappers die voor hun onderzoek daarvan afhankelijk zijn, en op de langere termijn de Nederlandse economie schade toebrengen.

De 165 M€ die structureel per jaar *additioneel* nodig is, bestaat uit drie componenten: (1) de nationale digitale infrastructuur voor onderzoek (51,5 M€ extra), (2) lokale faciliteiten (63,5 M€ extra) en (3) digitale infrastructuur voor data-intensief onderzoek (50,0 M€ extra). Het betreft investeringen in nationale en lokale rekenfaciliteiten, opslag- en netwerkinfrastructuur, Authenticatie en Autorisatie Infrastructuur (AAI) en security, en in aansluiting bij internationale samenwerkingsverbanden zoals Europese reken- en AI-faciliteiten. High-end-gebruikers moeten toegang kunnen krijgen tot wereldwijde rekenfaciliteiten in het buitenland. De technische, wetenschappelijke en financiële samenwerking die daarvoor nodig is, wordt op lidstaatsniveau geregeld.

Continue vernieuwing van de infrastructuur vereist ook het faciliteren van experimentele, innovatieve platforms, die – gescheiden van productieomgevingen – experimenteren met innovatieve technologie, nieuwe algoritmen en nieuwe concepten, zoals energie-efficiënt rekenen.

Daarnaast is er nationale en lokale uitbreiding nodig van expertondersteuning voor zowel gebruikers als applicaties. Software is onontbeerlijk om de faciliteiten efficiënt en effectief te kunnen benutten en grote wetenschappelijke datasets adequaat te kunnen analyseren, verwerken en duurzaam te kunnen bewaren. Het is niet schaalbaar om dit alleen op nationaal niveau te organiseren, daarom is het opschalen van lokale faciliteiten en expertise cruciaal voor een goed functionerend gelaagd ecosysteem. Globaal gaat het om de volgende investeringen, die in hoofdstuk 6 nader worden onderbouwd:

1. 51,5 M€ per jaar additioneel voor nationale digitale infrastructuur voor onderzoek

Dit bedrag is nodig om de nationale infrastructuur terug op niveau te brengen zodat ze de Nederlandse wetenschappelijke ambities kunnen faciliteren en dat Nederland de aansluiting in Europa kan hervinden (zie tabel 4.1).

Het betreft hier voorzieningen op nationaal niveau (Tier-1) voor algemeen wetenschappelijk gebruik, die toegankelijk zijn voor elke wetenschapper die aan een Nederlandse instelling werkzaam is. Toegang wordt in het algemeen geregeld via calls, bijvoorbeeld via de rekentijdcall¹⁵ die toegang verleent tot de centrale rekenvoorzieningen zoals de nationale supercomputer of de High Throughput Computing infrastructuur. Deze faciliteiten worden beheerd en gefaciliteerd door SURF¹⁶, inclusief de bijbehorende netwerk-, toegangs- en veiligheidsvoorzieningen, ondersteuning en helpdesk faciliteiten.

¹⁵ <https://www.nwo.nl/calls/rekentijd-nationale-computersystemen>

¹⁶ Gedeeltelijk samen met Nikhef

Effectief gebruik van dergelijke (hardware) voorzieningen kan niet zonder de beschikbaarheid van expertise die verder gaat dan de basisondersteuning. De genomen complexiteit en heterogeniteit van hardware (denk aan verschillende typen processoren in de systemen) vereist diepgaande expertise voor optimaal gebruik. Daarnaast zijn er eisen op bijvoorbeeld het gebied van dataverwerking die voor elke wetenschappelijke discipline anders kunnen zijn, maar waarbij wel gestreefd kan worden naar toepassing van gelijke bouwblokken in meerdere disciplines. SURF en het Netherlands eScience Center werken hieraan met de sector, maar de vraag naar ondersteuning hierbij groeit.

Lokale Digitale Competentie Centra (LDCC's) zijn onderdeel van een wetenschappelijke instelling en goed toegankelijk als eerste aanspreekpunt voor onderzoeksgroepen, met als functie het ondersteunen van het lokale onderzoek door bijvoorbeeld het faciliteren van data-management van wetenschappelijke data. Daarnaast zijn er Thematische Digitale Competentie Centra (TDCC's) waar onderzoeksgroepen van verschillende organisaties hun datamanagement en kennisdeling rondom

een specifiek thema in onderbrengen. Zij vervullen een projectrol door specifiek voor hun onderzoeksdomein door NWO opgezette financieringsrondes uit te voeren om de digitale ondersteuning binnen het domein te versterken.

Ontwikkelingen in digitale infrastructuur gaan snel. Dat vereist vooruitkijken naar wat gaat komen en wat onderzoekers op de wat langere termijn nodig gaan hebben om competitief wetenschappelijk onderzoek te blijven doen. De ontwikkeling van nieuwe technologie zoals quantum computing en neuromorphic computing speelt hierin een belangrijke rol, maar ook zich ontwikkelende expertisegebieden zoals AI en beleid op publieke waarden en digitale soevereiniteit vereisen aandacht. Vernieuwing van een relevante kennisbasis blijft hierdoor van belang.

Nederland neemt ook in meer algemene zin deel aan internationale samenwerkingsverbanden voor digitale infrastructuren zoals EuroHPC, PRACE, GÉANT, EGI, EUDAT en de verschillende EOSC-initiatieven¹⁷.

In M€ per jaar	Nationaal	
	Nu	Additioneel
Dataopslagvoorzieningen	3,0	4,5
Rekenvoorzieningen	20,5	14,0
Netwerk, Toegang, Veiligheid	5,5	7,5
Expertise & Ondersteuning (incl AI)	15,0 ¹⁸	13,0 ¹⁹
Internationale Participaties		9,0
Vernieuwing	3,5	3,5
Totaal	47,5	51,5

Tabel 4.1: Huidige en additionele financiering van de nationale infrastructuur.

¹⁷ https://www.eurohpc-ju.europa.eu/index_en, <https://prace-ri.eu/>, <https://geant.org/>, <https://www.egi.eu/>, <https://eudat.eu/> en https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-research-and-innovation/our-digital-future/open-science/european-open-science-cloud-eosc_en

¹⁸ Hierin zijn bevat de huidige middelen: Netherlands eScience Center voor 8,5 M€, LDCC voor 2 M€, TDCC voor 2,5 M€ en Applicaties voor 2 M€. Samen 15,0 M€.

¹⁹ Hierin zijn bevat de additionele middelen: Netherlands eScience Center voor 3,5 M€, LDCC voor 2 M€, TDCC voor 4,5 M€ en Applicaties voor 3 M€. Samen 13,0 M€.

Daarnaast zijn er projecten gericht op nieuwe technologie zoals quantum computing en quantum communicatie waarin SURF met verschillende kennisinstellingen deelneemt. Tenslotte zijn er projecten gericht op specifieke, voor Nederland van belang zijnde, wetenschappelijke disciplines met ICT-infrastructuureisen.

2. 63,5 M€ per jaar additioneel voor lokale digitale infrastructuur voor onderzoek

Dit zijn voorzieningen (Tier-2) die toebehoren aan een instelling, waarvan onderzoekers gebruik kunnen maken. Deze voorzieningen kunnen fysiek bij de instelling staan, maar ze kunnen ook geïntegreerd zijn in nationale voorzieningen. De instellingen besluiten zelf over de wijze waarop hun onderzoekers toegang kunnen krijgen en in hoeverre de kosten hiervan doorbelast worden binnen de instelling. Deze lokale voorzieningen zijn ook bij uitstek geschikt om studenten te betrekken bij het onderzoek en zo een bijdrage te leveren aan een nieuwe generatie data gedreven onderzoekers.

Lokale support ("onderzoeksondersteuning") beoogt het effectief gebruik van de lokale voorzieningen door onderzoekers te verhogen. Uitwisseling van kennis en best practices tussen de instellingen onderling en met de op nationaal niveau beschikbare menskracht verhoogt de samenhang van de gehele digitale infrastructuur en het gebruik ervan. Een typisch voorbeeld hiervan is de ontwikkeling van toepassingen op lokale systemen die vervolgens worden opgeschaald naar het nationale systeem. Eenvoudigere uitwisseling van data- en rekenopdrachten tussen lokale voorzieningen onderling en tussen lokale en nationale voorzieningen bevordert het effectieve gebruik van de gehele digitale infrastructuur. Dit bewerkstelligen vereist een zeker niveau van investeringen en prioriteiten bij de instellingen.

De financiering van de lokale voorzieningen ligt nu bij de instellingen die dit voor een groot deel financieren via de lumpsumbekostiging, maar is onvoldoende om de groeiende behoefte in infrastructuur en menskracht te ondersteunen (zie tabel 4.2).

In M€ per jaar	Lokale voorzieningen	
	Nu	Additioneel
Dataopslagvoorzieningen	20,0	17,0
Rekenvoorzieningen	35,0	20,0
Netwerk, Toegang, Veiligheid		
Expertise & Ondersteuning (incl AI)	40,0	26,5
Internationale Lidmaatschappen		
Vernieuwing		
Totaal	95,0	63,5

Tabel 4.2: Huidige en additionele financiering van de digitale infrastructuur voor lokale voorzieningen.

3. 50 M€ per jaar additioneel voor data-intensief onderzoek

Data-intensief onderzoek is hier gedefinieerd als onderzoek dat wordt verricht door onderzoekssamenwerkingen waarvan de behoefte voor digitale infrastructuur qua omvang niet past binnen de mogelijkheden van de lokale en nationale digitale infrastructuur. Het gaat hier dus om de capaciteitsbehoefte van data-intensief onderzoek die binnen de nationale voorzieningen te groot zou worden. Binnen deze groep liggen de knelpunten vooral bij het verwerken en de opslag van zeer grote datastromen door grootschalige experimenten.

NWO erkent 39 disciplines binnen het landschap van grootschalig onderzoek. De huidige (2025) en extra behoefte aan digitale infrastructuur in de periode 2027-2035 is in kaart gebracht als functie van 5 domeinen waarin alle 39 disciplines zijn meegenomen: 'Hogenergiefysica, donkere materie en zwaartekrachtgolven', 'Astronomie', 'Geowetenschappen en milieuwetenschappen', 'Levenswetenschappen en gezondheid' en 'Sociale en Geesteswetenschappen'. De reden hiervoor is dat er al veel samenwerking plaatsvindt binnen deze domeinen, wat mogelijkheden biedt voor synergie in het gebruik van digitale infrastructuur binnen en over de domeinen heen. Dit rapport presenteert voorts nog eerst de geaggregeerde behoefte over de 5 domeinen heen.

De meeste, maar niet alle, van deze samenwerkingen maken deel uit van het huidige landschap voor grootschalige wetenschappelijke infrastructuren (GWI)²⁰. Nederland neemt deel aan een groot aantal (inter)nationale GWI's, waarvoor reeds grote investeringen gedaan zijn. Een GWI wordt hierbij gedefinieerd als "faciliteiten, middelen en diensten voor onderzoeksgemeenschappen, met als doel het verrichten van onderzoek en het stimuleren van grensverleggend onderzoek binnen hun vakgebieden." GWI's kunnen gecentraliseerd, gespreid over meerdere locaties, virtueel of gedistribueerd zijn, binnen Nederland of daarbuiten.

Een gemeenschappelijke factor van de meeste GWI's is dat ze grote hoeveelheden data genereren. De daaruit voortvloeiende uitdagingen zijn het data-transport en de verwerking, opslag en analyse van de gegevens. Hiervoor is een digitale infrastructuur nodig. Om recht te doen aan de gedane investeringen in het meetinstrument zelf is een digitale infrastructuur onontbeerlijk. Daarnaast betreft het vaak instrumenten die decennia operationeel zijn, hetgeen betekent dat ook de bijbehorende digitale infrastructuur decennialang beschikbaar en up-to-date dient te zijn.

Via interviews en een literatuurstudie is een schatting gemaakt van de huidige omvang aan digitale infrastructuur voor data-intensief onderzoek en de extra behoefte in de periode 2027-2035. Dit rapport maakt onderscheid tussen generieke digitale infrastructuur (inclusief bijbehorende expertise) die grootschalig ingezet kan worden, en specifieke digitale infrastructuur die volledig is toegespitst op een specifiek experiment. Voorbeelden van generieke digitale infrastructuur zijn grootschalige reken- en datavoorzieningen die breed benut kunnen worden. Een voorbeeld van een specifieke infrastructuur is een (kleinere) rekenserver die naast een experiment in een lab staat om het signaal van het experiment op te vangen.

In 2025 is een bedrag van 13,5 M€ per jaar beschikbaar voor data-intensief onderzoek. Dit komt overeen met circa 20 procent van de middelen voor GWI's. In de periode 2027-2035 is naar schatting 50 M€ per jaar additioneel nodig. Dit betekent dat de kosten van de digitale ondersteuning even groot worden als het huidige totale budget voor GWI's²¹. Dit is een onhoudbare situatie. Indien er geen extra middelen voor digitale ondersteuning beschikbaar worden gemaakt, kunnen de experimenten en de eerder door Nederland gedane investeringen niet renderen (zie tabel 4.3).

²⁰ <https://www.onderzoeksfaciliteiten.nl/>

²¹ <https://www.nwo.nl/onderzoeksprogrammas/nationale-roadmap-grootschalige-wetenschappelijke-infrastructuur>

In M€ per jaar	Data-intensief onderzoek	
	Nu	Additioneel
Dataopslagvoorzieningen	4,0	13,5
Rekenvoorzieningen	4,0	17,0
Netwerk, Toegang, Veiligheid	2,5	5,5
Expertise & Ondersteuning (incl AI)	3,0	10,5
Internationale Lidmaatschappen		
Vernieuwing	0,0	3,5
Totaal	13,5	50,0

Tabel 4.3: Huidige en additionele financiering van de digitale infrastructuur voor data-intensief onderzoek.

4. Periodieke herijking

Omdat de ontwikkelingen in digitalisering snel gaan en leiden tot veranderende behoeften bij wetenschappers, dient de overheid over te gaan tot een periodieke herijking. Daarbij moet aandacht zijn voor nieuwe technologische ontwikkelingen en de behoeften van Nederlandse wetenschappers, waarbij het cruciaal is om tijdig te bezien hoe infrastructuren die met impulsfinanciering een stimulans hebben gekregen een structurele plek gaan krijgen in het bestel. Denk hierbij aan de quantumcomputer en de AI-fabriek, maar ook aan lokale en domeinspecifieke digitale infrastructuren die nu met opeenvolgende projectfinanciering overeind gehouden worden. Hierbij dient ook telkens de vraag te worden gesteld rondom verdere samenwerking en

daaruit mogelijk vloeiende synergiën. Ook dient de Nederlandse positie ten opzichte van internationale peers gebenchmarkt te worden.

Nieuwe onderwerpen die aandacht behoeven zijn de weerbaarheid en autonomie van de sector. Dit vraagt in de huidige geopolitieke context om een separaat rapport, waarbij in samenhang met de onderwijssector in kaart gebracht wordt welke componenten op deze aspecten versterkt moeten worden en wat daarvoor nodig is. Wel moet met het zich ontwikkelen van de digitale infrastructuur voor onderzoek reeds nu rekening gehouden worden met beveiliging van data en infrastructuur, waarvoor dan ook extra middelen nodig zijn (zie sectie 5.3).

05

Onderbouwing investeringsbehoefte

Dit hoofdstuk gaat nader in op de benodigde investeringen in de verschillende onderdelen van de digitale infrastructuur voor onderzoek. Deze onderdelen dienen echter wel in samenhang gezien en uitgevoerd te worden.

5.1 Datavoorzieningen

In de komende periode zal naar verwachting het beheer van wetenschappelijke data ingrijpend veranderen onder invloed van toenemende datavolumes, strengere regelgeving, en de integratie van AI. Grote wetenschappelijke infrastructuren zoals de Square Kilometre Array (SKA), de High-Luminosity Large Hadron Collider (HL-LHC) bij CERN en wereldwijde aardobservatie-programma's genereren petabytes (een miljoen gigabytes) tot exabytes (een miljard gigabytes) aan data. Enkele voorbeelden:

Traditioneel loopt de deeltjesfysica voorop als het gaat om de omgang met data. In het LHC-experiment vindt reeds datareductie plaats in de detector zelf, en wordt vervolgens de data verspreid en gedupliceerd over een tiental Tier-1 sites. Nikhef/SURF is er daar een van. In de astronomie doet het LOFAR-experiment iets soortgelijks, en ook het toekomstige SKA-experiment beoogt een dergelijke strategie. Steeds meer experimenten, zoals bijvoorbeeld de aardobservatie-experimenten waarin Nederlandse onderzoekers sterk betrokken zijn, zullen naar een dergelijke set-up moeten gaan kijken.

Daarnaast worden er steeds meer beveiligingsbenaderingen op de data toegepast zoals homomorphe encryptie, differential privacy, en multi-party computation. Als gevolg hiervan worden de gegevensbestanden nog groter, en vergen ze steeds meer reken capaciteit voor analyse.

Discipline	Beschrijving	Eisen
Deeltjesfysica	HL-LHC upgrade, (veel) meer dataproductie, Tier-0/Tier-1 model	800 petabytes per jaar voor HL-LHC, idem voor andere grote instrumenten
Astronomie	Op sensors gebaseerde instrumenten, zoals SKA, worden operationeel	700 petabytes per jaar
Aardobservatie	Copernicus programma	50 petabytes per jaar
Levenswetenschappen en gezondheid	Sequencing, medische beelden en sensordata	Petabytes per jaar, additionele privacy-eisen

Tabel 5.1.1: Overzicht van eisen aan datavoorzieningen uit enkele disciplines.

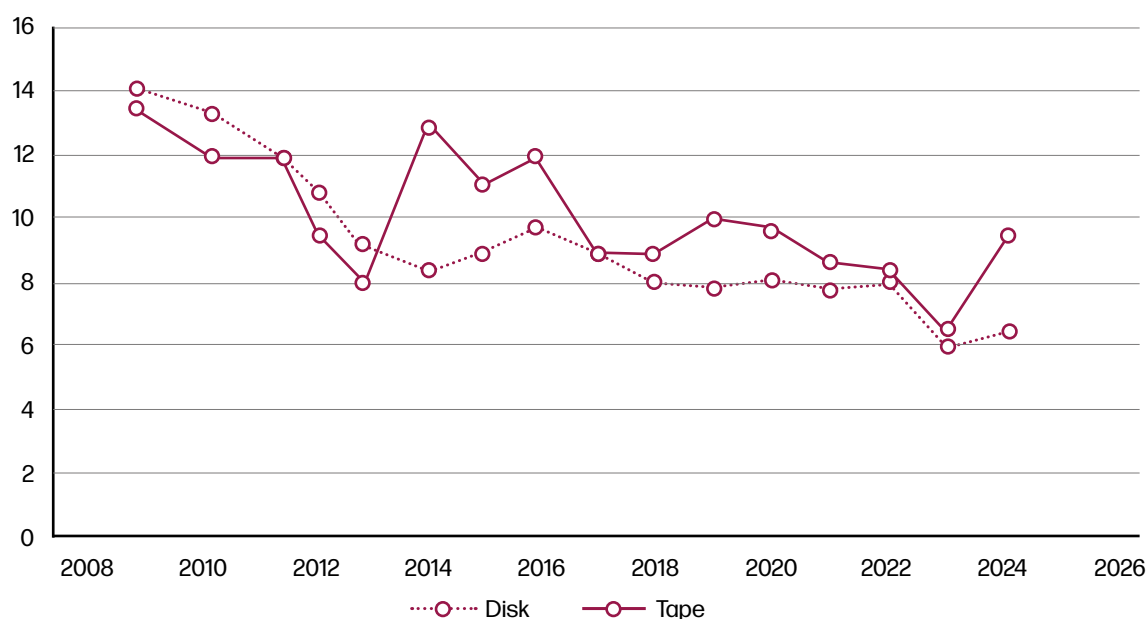
Hoewel de ruwe data in de levenswetenschappen in eerste instantie kleiner lijken dan in de andere domeinen, stellen deze als gevolg van aggregatie en privacy-maatregelen hogere eisen aan de rekenfaciliteiten.

Ook groeit de behoefte aan transparantie, reproduceerbaarheid en duurzaam datagebruik. Het belang van Research Data Management groeit. Dit aspect dient meer en meer opgenomen te worden in de tools die onderzoekers krijgen aangereikt voor het omgaan met steeds verder in omvang toenemende wetenschappelijke datasets en resultaten.

Tenslotte, om in internationale samenwerkingen een rol van belang te spelen is het in toenemende mate belangrijk om (gedeelten van) internationale datasets te hosten en te managen in Nederland.

Nationale infrastructuur

Op globale en Europese schaal is de omvang van de Nederlandse datavoorzieningen in vergelijking met landen waar Nederland zich mee zou willen vergelijken sterk verminderd. Deze relatieve achteruitgang is onder meer zichtbaar in de zogenaamde High-Throughput Computing (HTC) voorzieningen voor rekentoepassingen die tevens veel dataopslagcapaciteit nodig hebben. Figuur 5.1.1. geeft, bij gelijkblijvend aantal Tier-1 installaties, de achteruitgang weer van de door Nederland geleverde capaciteit op het gebied van dataopslag aan de verzameling van Tier-1 installaties van het Worldwide LHC Computing Grid voor de Large Hadron Collider op CERN.



Figuur 5.1.1: Afname in procentueel aandeel in de dataopslagcapaciteit van de Nederlandse Tier-1 t.b.v. het WLCG. De grafiek laat zien dat de relatieve bijdrage van de Nederlandse Tier-1 aan WLCG sinds 2009 gehalveerd is.²²

²² LHC en LOFAR maken gebruik van de nationale infrastructuur, maar zijn dusdanig van omvang dat zij een buitenproportionele vraag naar digitale infrastructuur hebben. Deze grafiek laat de achteruitgang zien in de nationale bijdrage.

Met deze achteruitgang neemt de aantrekkelijkheid van Nederland als partner in grootschalige wetenschappelijke instrumenten af, en daarmee de mogelijkheden tot samenwerking voor Nederlandse onderzoekers. Een vergelijkbaar beeld zien we bij andere experimenten zoals bijvoorbeeld bij de door Nederland geleide internationale LOFAR radiotelescoop waar de hoeveelheid data in Nederland vanwege de beperkte middelen in de periode 2020-2023 is gestagneerd en in de periode 2023-2025 met 30 procent is afgenomen. Zonder additionele financiering zal eind 2026 de data in Nederland met minimaal 60 procent zijn afgenomen en mogelijk helemaal verdwijnen, met als gevolg een afgenomen aantrekkelijkheid van Nederland als samenwerkingspartner.

Lokale (Tier-2) infrastructuur

Het betreft hier lokale opslagvoorzieningen die benodigd zijn voor lokale dataverwerking. Ook gaat het om voorzieningen om voorbereidend werk te doen in aanloop tot het gebruik van de nationale voorzieningen

(denk bijvoorbeeld aan testruns), en om behaalde resultaten op de nationale voorzieningen of in de GWI's lokaal verder te bewerken, te visualiseren of geschikt te maken voor publicatie. Daarnaast gaat het om opslagvoorzieningen voor grote instrumenten en om opslagvoorzieningen voor datamanagement. Op dit moment is de jaarlijkse totale waarde van lokale opslagfaciliteiten, inclusief beheer bij de universiteiten, ongeveer 10 M€. Bij de UMC's is dit niet uitgevraagd, maar gezien de aard van de data, die vaak lokaal opgeslagen dient te worden, zal het bedrag vergelijkbaar zijn. Totaal komt dit dus neer op circa 20 M€. De hoeveelheid en omvang van data groeit enorm hard: de universiteiten verwachten een groei van 50-100 procent per jaar, afhankelijk van het vakgebied. Ook de hogescholen werken bij hun praktijkgericht onderzoek in toenemende mate met onderzoeksdata en dienen meegenomen te worden in de verwachte groei. Deze groei is niet op te brengen uit de huidige beschikbare middelen. Daarom wordt geadviseerd om een bedrag van 17,0 M€ per jaar te reserveren voor de versterking van de lokale datavoorzieningen.

Data-intensief onderzoek

Op het gebied van dataopslag zijn op dit moment de LHC en LOFAR de grootste instrumenten, met zicht op de High Luminosity LHC en SKA die in de komende jaren online komen. tabel 5.1.2. geeft enkele voorbeelden van de geschatte benodigde (wereldwijde) opslagcapaciteit, in petabytes (een miljoen gigabytes).

Zeker voor HL-LHC, SKA en LOFAR zal een beroep gedaan worden op de thans deelnemende landen om een gedeelte van de dataopslag voor hun rekening te nemen. Afhankelijk van de Nederlandse ambitie zullen daar mogelijk tientallen petabytes per jaar in Nederland opgeslagen worden. De huidige kosten van opslag voor data-intensief onderzoek in Nederland zijn ongeveer 4,0 M€ per jaar. De additionele kosten voor het Nederlandse gedeelte van de opslag die nodig is voor data-intensief onderzoek worden voor de periode 2027-2035 geschat op gemiddeld 13,5 M€ per jaar.

Observaties en aanbevelingen

- De behoefte aan dataopslag neemt sterk toe, in internationaal verband neemt echter de Nederlandse investering af.
- Versterk niet alleen de nationale infrastructuur, maar ook de lokale voorzieningen voor pre- en post-processing opslag.
- Investeer in het strategische belang van hosting van data onder de FAIR-principes en de veilige omgang met gevoelige data ten behoeve van data-intensief onderzoek.
- Zorg ervoor dat ook praktijkgericht onderzoek op HBO-instellingen toegang heeft tot betrouwbare digitale infrastructuren, bij samenwerking met bedrijven, en bij lectoraten die zich bezighouden met data-intensieve thema's (bijvoorbeeld AI-toepassingen, data science en zorgtechnologie).

GWI		Opslagbehoefte wereldwijd (geschat voor einde van de periode)
CERN / HL-LHC		~800 PB/jaar
SKA		~700 PB/jaar
LOFAR		~6 PB/jaar
ESO / (ALMA WSU, VLT, ELT)		~9 PB/jaar
Copernicus/ESA		~50 PB/jaar
EMBL / ELIXIR		~10 PB/jaar
ITER		>10 PB/jaar

Tabel 5.1.2: Geschatte opslagbehoefte per jaar voor een aantal GWI's waaraan Nederland deelneemt.

Benodigde middelen

In M€ per jaar	Nationaal		Lokaal		Data-intensief	
	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel
Dataopslagvoorzieningen	3,0	4,5	20,0	17,0	4,0	13,5

Tabel 5.1.3: Benodigde jaarlijkse additionele middelen voor dataopslagvoorzieningen.

5.2 Rekenvoorzieningen

In de komende jaren groeit de vraag naar rekencapaciteit voor wetenschappelijk onderzoek explosief.²³ Deze toename wordt veroorzaakt door grotere datasets, complexere modellen en de integratie van AI in vrijwel alle onderzoeksvelden. Waar traditionele supercomputers voorheen voldeden, ontstaat nu behoefte aan hybride rekenarchitecturen die kunnen omgaan met petabytes aan data (zie sectie 5.1), miljarden parameters en real-time analyse. Slechts enkele voorbeelden van toenemende omvang en complexiteit, allen in de exascale (een miljard keer een miljard rekenoperaties per seconde) categorie.

Naast de omvang neemt naar verwachting ook de diversiteit in het aanbod toe. Exascale computing, AI-integratie en hybride rekenmodellen bepalen het tempo van vooruitgang in een nog steeds toenemend aantal disciplines. Tegelijkertijd groeit de aandacht voor toegankelijkheid, duurzaamheid en ethische inzet van rekenkracht. Investerings in flexibele, schaalbare en groene infrastructuur zijn cruciaal om wetenschappelijke innovatie op wereldschaal mogelijk te maken.

Discipline	Beschrijving	Eisen
Klimaatonderzoek	1-5 km resolutie, >100 jaar	Exascale capaciteit en verder ²⁴
Moleculaire dynamica	Meer atomen, simulatietijd van fs naar ps naar ns	Exascale capaciteit en verder
Aerodynamica, turbulentie en multi-fase stromingen	Directe numerieke simulatie, hogere resoluties	Exascale capaciteit en verder
Genomics en systeembio	Volledige celanalyse, multi-scale modelling	Exascale capaciteit en verder

Tabel 5.2.1: Overzicht van rekeneisen uit enkele disciplines.

²³ Research shows Dutch science needs more computing power | NWO

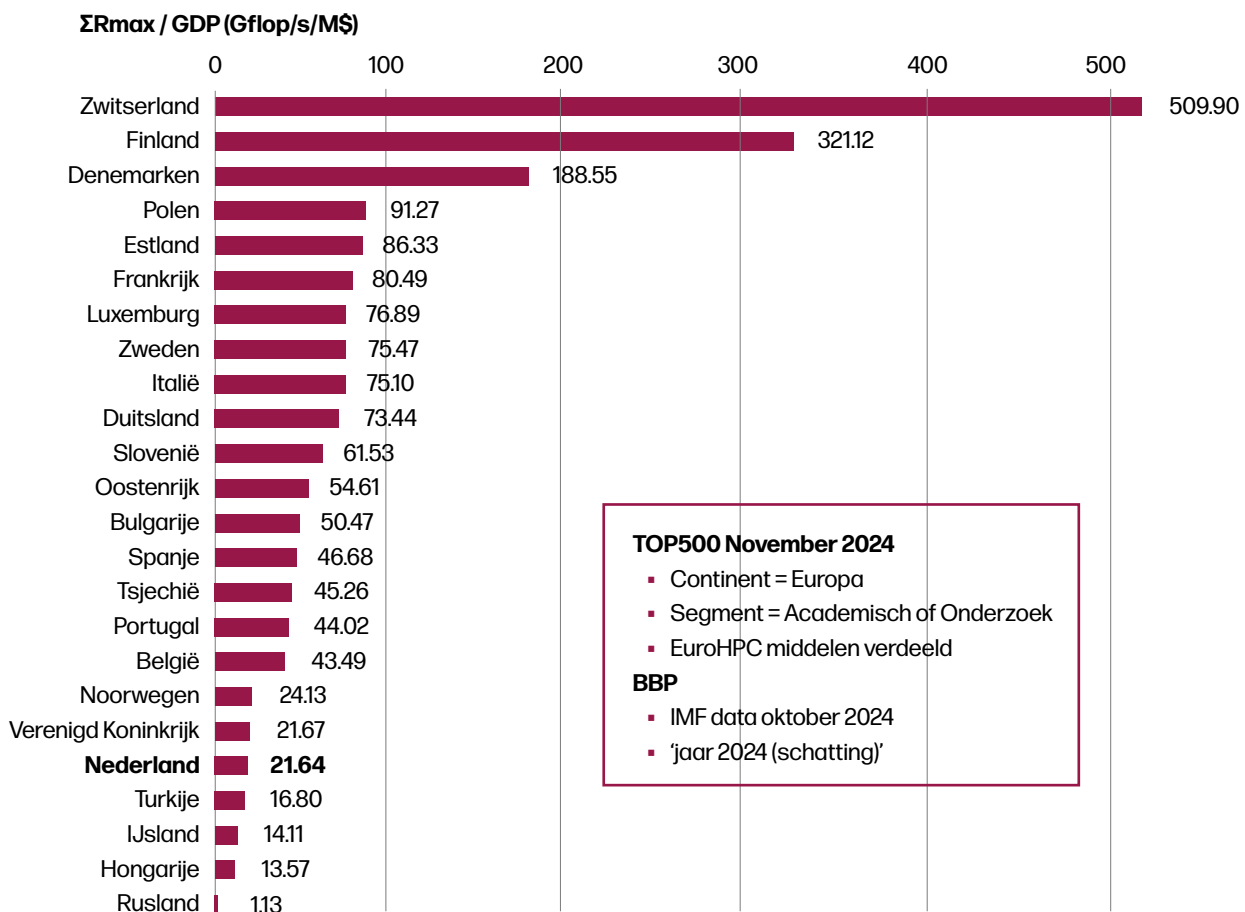
²⁴ Exascale capaciteit is 10 tot de macht 18 rekenoperaties per seconde. Deze systemen zijn al in bedrijf. Ter vergelijking: de Nederlandse nationale supercomputer heeft een capaciteit van ca 3 keer 10 tot de macht 16, dus een factor 30 kleiner.

Nationale infrastructuur

De nationale Nederlandse rekeninfrastructuur bestaat uit de Nationale Supercomputer Snellius (High Performance Computing, HPC), de High Throughput (HTC) omgevingen en de cloud infrastructuur. Daarbovenop biedt SURF onderzoeksapplicaties en -toepassingen aan en helpt SURF onderzoekers met expertise en begeleiding.

De omvang van de Nederlandse rekenvoorzieningen is in vergelijking met landen waarmee Nederland zich zou willen vergelijken sinds circa 2015 sterk verminderd. Figuur 5.2.1. laat zien hoe de TOP500²⁵ ranglijst dit illustreert voor HPC-voorzieningen:

Nederland stond voor 2015 op positie 7 in deze ranglijst. Nu staan we 20ste. Er zijn meer investeringen nodig en meer middelen om de bijbehorende operationele lasten te bekostigen. Hierbij verdient een Total Cost of Ownership model de voorkeur om investering en operationele lasten zo goed mogelijk op elkaar af te stemmen. Een investering in meer hardware is belangrijk, maar moet vergezeld zijn van een investering in faciliteiten om deze te hosten en de snelgroeiende energieconsumptie duurzaam op te vangen. Onlosmakelijk verbonden met de groeiende vraag naar reken-capaciteit is het belang van passende deskundige ondersteuning en training voor onderzoekers die met digitale nationale infrastructuur werken.

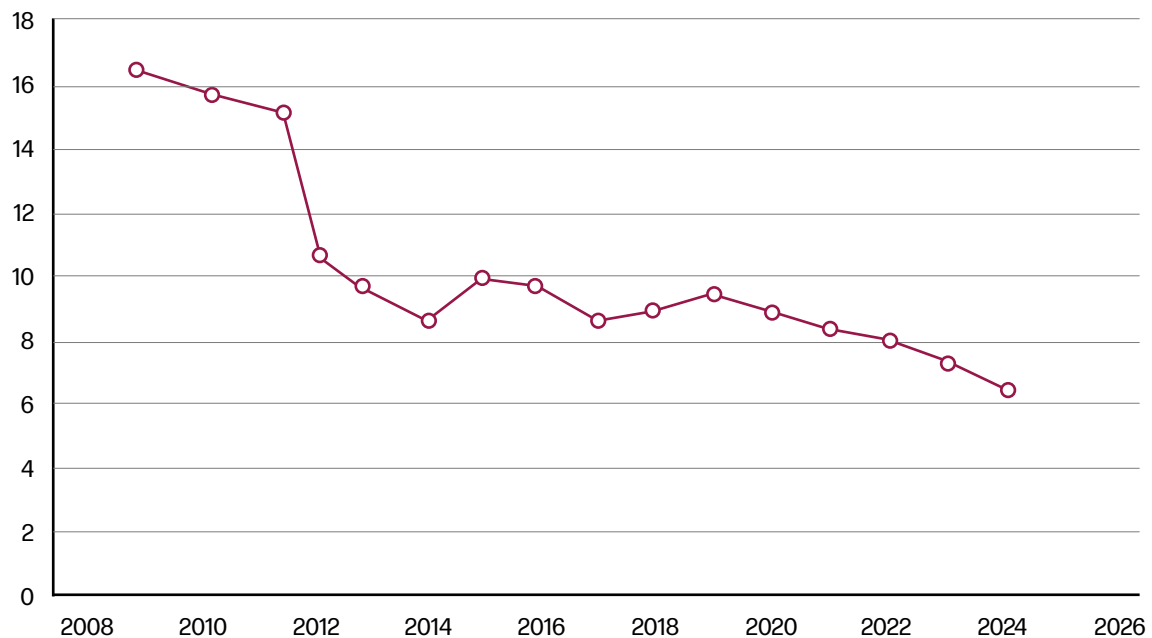


Figuur 5.2.1: Positie van Nederland (november 2024) in de TOP500 ranglijst van Europese HPC-systemen, omgerekend naar Bruto Binnenlands Product (BBP).

²⁵ [Home - |TOP500](#)

Zoals in de HPC-voorzieningen is ook een achteruitgang zichtbaar in de HTC-voorzieningen voor rekenaartoeepassingen die veel capaciteit nodig hebben, maar niet perse HPC-voorzieningen zijn. Figuur 5.2.2. geeft, bij gelijkblijvend aantal Tier-1 installaties, de achteruitgang weer van de door Nederland geleverde capaciteit aan de verzameling van Tier-1 installaties van het WLCG²⁶ voor de Large Hadron Collider (LHC) op CERN, vergelijkbaar dus met de achteruitgang in dataopslagcapaciteit (figuur 5.1.1):

Met deze achteruitgang neemt de aantrekkelijkheid van Nederland als partner in grootschalige wetenschappelijke instrumenten af, en daarmee de mogelijkheden tot samenwerking voor Nederlandse onderzoekers.



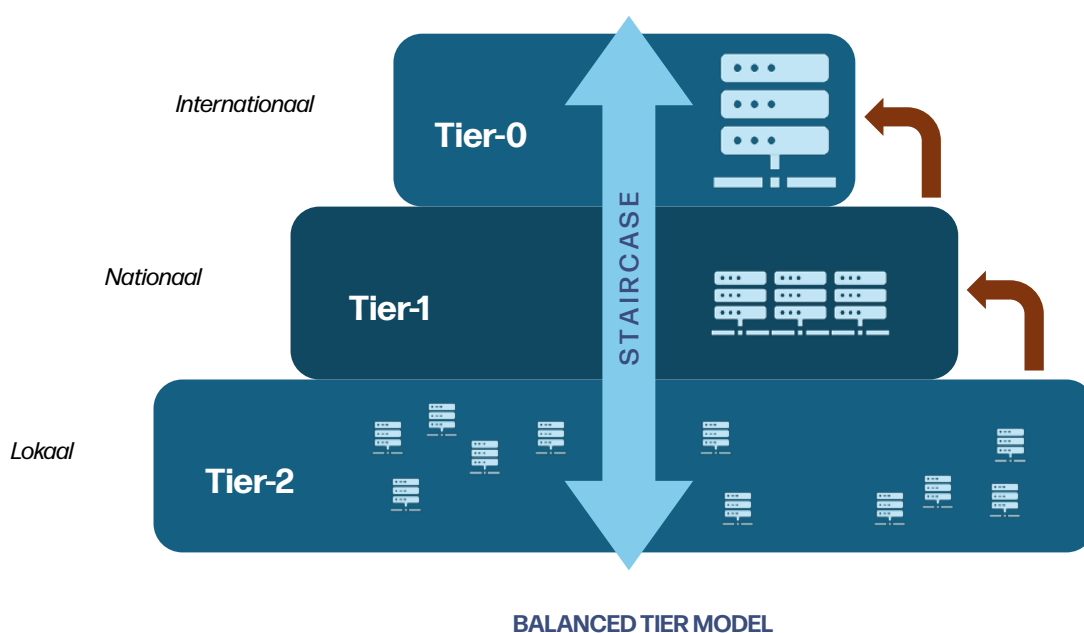
Figuur 5.2.2: Afname in procentueel aandeel in de rekencapaciteit van de Nederlandse Tier-1 tbv het WLCG.

²⁶ WLCG: Worldwide LHC Computing Grid.

Lokale (Tier-2) infrastructuur

Het model dat vaak gebruikt wordt om de hiërarchie van rekenvoorzieningen aan te geven is het zogenaamde staircase-model: op het moment dat een gebruiker behoefte heeft aan meer rekenkracht, bestaat er de mogelijkheid om toegang te krijgen tot grotere voorzieningen. Om die overgang soepel te laten verlopen dienen Tier-2 voorzieningen laagdrempelig beschikbaar te zijn. Deze Tier-2 voorzieningen kunnen fysiek bij de instelling staan, zij kunnen ook al dan niet geïntegreerd zijn in de nationale Tier-1 voorzieningen, met regievoering door de Tier-2 instelling voor wat betreft hun gebruikers.

Niet elke Tier-2 heeft een gelijke behoefte aan meer middelen. Bij de universiteiten varieert de omvang van de clusters in een jaarlijkse waarde tussen de 150 k€ en 6 M€. De totale waarde ligt rond de 35 M€. Ook hier is er een forse behoefte aan groei, die nog forser ingeschat wordt voor (dure) GPU-voorzieningen voor AI-toepassingen. De universiteiten schatten een gewenste groei van 50-100 procent per jaar. Met de huidige middelen is dat onmogelijk, mede door de druk op de lumpsummiddelen. Samen met de behoefte aan dataopslagcapaciteit in het praktijkgericht onderzoek aan de hogescholen geldt hetzelfde voor de benodigde reken capaciteit: de behoefte hieraan neemt snel toe.



Figuur 5.2.3: Tier-model van rekenvoorzieningen.

Data-intensief onderzoek

De beschreven nationale infrastructuur is in hardware-opzicht een zogenaamde “general-purpose” infrastructuur: er wordt niet voorgesorteerd ten behoeve van specifieke wetenschappelijke disciplines. Dat komt bijvoorbeeld terug in de architectuur van de nationale supercomputer, die gericht is op algemene applicatie performance. De ICT-behoeften van grootschalige wetenschappelijke instrumenten kunnen het generieke aanbod echter overstijgen. Via de financieringsinstrumenten (Grootschalige Wetenschappelijke Infrastructuur (GWI) - Nationale Roadmap consortia en Wetenschappelijke infrastructuur (WI): nationale consortia) voor deze GWI's kan voorzien worden in additionele, buitenproportionele ICT-voorzieningen. Daarnaast ontstaan er met het toenemende gebruik vanuit de Life Sciences en Health (LSH) en de Social Sciences en Humanities (SSH) domeinen nieuwe specifieke eisen, bijvoorbeeld op het gebied van privacy en dataveiligheid, waar rekening mee gehouden moet worden.

Naar verwachting is er voor een toenemend aantal soorten data-intensief onderzoek extra rekencapaciteit nodig. De huidige middelen voor rekenvoorzieningen

voor data-intensief onderzoek zijn circa 4,0 M€ per jaar. De additionele middelen die nodig zijn voor het Nederlandse gedeelte van de rekenkracht voor data-intensief onderzoek worden in de periode 2027-2035 geschat op gemiddeld 17,0 M€ per jaar. Gezien de mogelijke synergiën in grootschalig gebruik van digitale infrastructuur door data-intensief onderzoek is het de vraag hoe deze investeringen het best vorm kunnen krijgen: via het ophogen van bestaande subsidie-instrumenten, of door het ontwikkelen van een nieuw financieringsinstrument dat beter gebruik kan maken van economy-of-scale voordelen.

Observaties en aanbevelingen

- Breng de capaciteit van de nationale voorzieningen terug op het relatieve niveau van tien tot twintig jaar geleden.
- Stimuleer eenvoudige overgang tussen Tier-2 en Tier-1 gebruik door mee te investeren in lokale (Tier-2) faciliteiten.
- Versterk de Nederlandse inbreng van reken-capaciteit in grote internationale samenwerkingen zoals LHC en LOFAR/SKA.
- Neem praktijkgericht onderzoek op HBO's mee.

Benodigde middelen

In M€ per jaar	Nationaal		Lokaal		Data-intensief	
	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel
Rekenvoorzieningen	20,5	14,0	35,0	20,0	4,0	17,0

Tabel 5.2.2: Benodigde jaarlijkse additionele middelen voor rekenvoorzieningen.

5.3 Netwerk, toegang en veiligheid

Betrouwbare, veilige en snelle netwerkverbindingen zijn van groot belang voor het veilig transporteren van grote hoeveelheden onderzoeksdata en voor het bieden van toegang tot dataverzamelingen en onderzoeksfaciliteiten op afstand. Nederland heeft de reputatie een uitstekend onderzoeksnetwerk te hebben en te onderhouden. Om tegemoet te komen aan de veeleisende behoefte van de wetenschap is het echter nodig om het nationale netwerk doorlopend te innoveren en samen met partners in te zetten op strategische internationale verbindingen. Hierbij spelen door geopolitieke ontwikkelingen in toenemende mate ook autonomie en weerbaarheid een rol.

Met het oog op kennisveiligheid is een goede beveiliging van data cruciaal. Niet alleen op het gebied van data-veiligheid (wie heeft toegang en wie geeft toegang), ook op het gebied van identity management (is degene die toegang wil ook werkelijk wie hij zegt te zijn) is verhoogde aandacht nodig. Met toenemende internationale samenwerkingen wordt deze uitdaging groter. Daarnaast is toegang tot data, systemen, en infrastructuur zo essentieel dat de noodzaak toeneemt om dit als sector in eigen hand te houden en daarvoor niet afhankelijk te zijn van een paar niet-Europese bedrijven.

Netwerkvoorzieningen

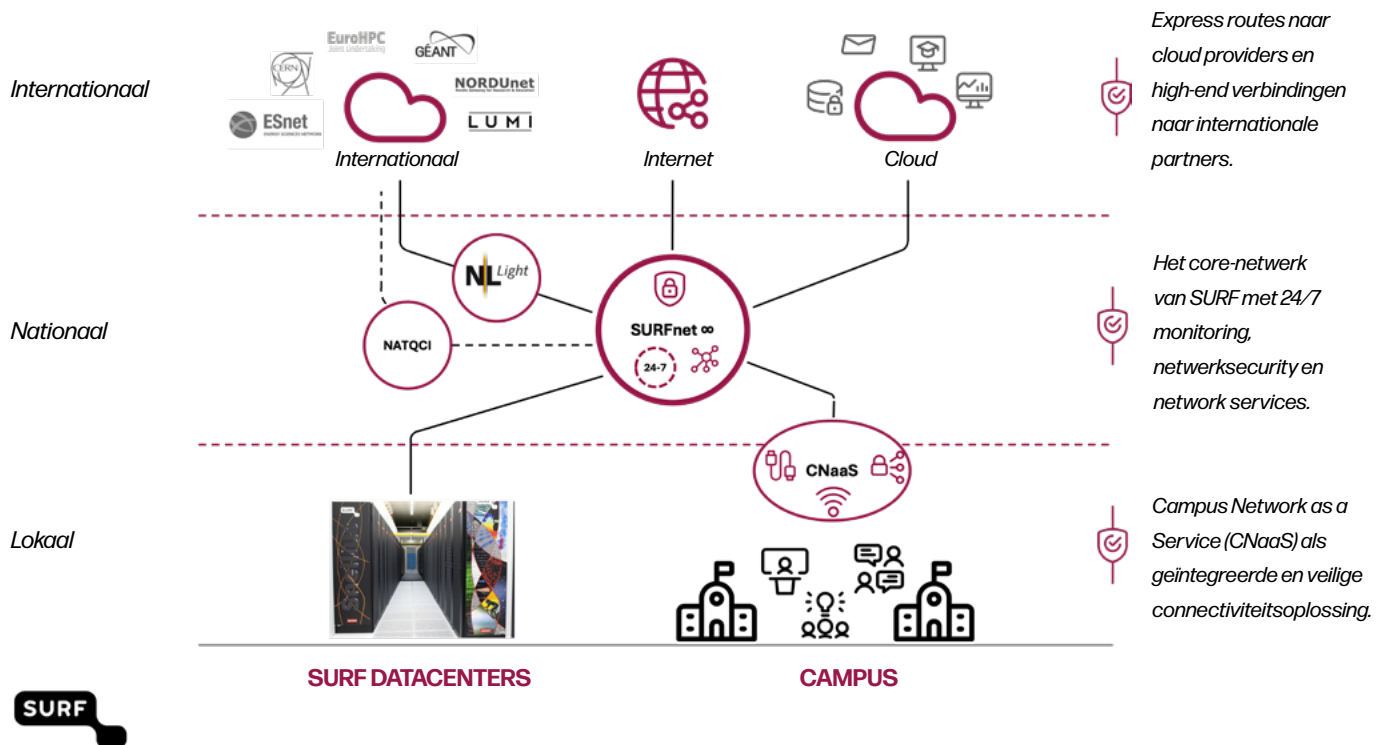
Nationale infrastructuur

Met een uitgebreid netwerk van ruim 13.000 km aan glasvezelverbindingen in eigen land en verbindingen met de rest van de wereld, stelt SURF onderzoekers in staat om grenzeloos samen te werken, systemen op afstand te kunnen bereiken, data uit te wisselen en een belangrijke bijdrage te leveren aan de innovatiekracht van Nederland. Het netwerk is een integraal onderdeel van de geïntegreerde digitale onderzoeksinfrastructuur en verbindt ook reken- en datafaciliteiten.

Het SURF-netwerk en de bijbehorende architectuur werden in het verleden elke vijf tot zes jaar grondig vernieuwd met een nieuwe generatie netwerkcomponenten. Vanaf 2024 is er gekozen voor een evolutionaire aanpak, waarbij de architectuur is gericht op flexibiliteit, robuustheid en veiligheid. Hierdoor is het mogelijk om eenvoudiger en sneller in te spelen op de wensen en behoeften van onderzoekers en gebruikers en sneller te reageren op technologische ontwikkelingen. Dit maakt innovatie en aanpassing aan nieuwe eisen eenvoudiger, terwijl de betrouwbaarheid en veiligheid van het systeem gewaarborgd blijven.

Om de groeiende datatransportstromen te kunnen faciliteren wordt er toegewerkt naar een 400 Gbit/s backbone in 2026. Dit is het centrale, hogesnelheidsnetwerk dat de verschillende delen van het internet met elkaar verbindt en op dit moment 100 Gbit/s is. Voor een aantal data-intensieve onderzoeksgroepen zullen snelheden in 2030 doorgroeien naar 1,6 Tbit/s.

Het SURF-netwerk sluit alle SURF-leden aan, plus meerdere onderzoeksinstellingen die geen lid zijn van SURF. Samen met partnerorganisaties, zoals GÉANT en andere NREn, werkt SURF continu aan snelle en veilige verbindingen naar buurlanden zoals Noorwegen, Zweden, Finland, Zwitserland, de Verenigde Staten, Canada en Azië, om zo internationale samenwerking tussen onderzoekers en toegang tot (grootschalige) onderzoeksfaciliteiten en databronnen in het buitenland beter te faciliteren.



Figuur 5.31: Architectuur van het netwerk op verschillende niveaus.

Om onderzoekers optimaal te ondersteunen, richt SURF zich op end-to-end verbindingen. Hierbij worden onderzoekers lokaal op hun campus of onderzoeksfaciliteit aangesloten, met verbindingen naar andere digitale infrastructuren zoals supercomputer Snellius en de toekomstige AI-Fabriek in Groningen in Nederland of internationale exascale systemen zoals LUMI in Finland en Alice Recoque in Frankrijk waarin door Nederland is geïnvesteerd. Netwerkverbindingen tussen verschillende sites maken ook een decentrale faciliteit als LOFAR tot een krachtig onderzoeksinstrument en ontsluiten grootschalige onderzoeksfaciliteiten als LHC, SKA of EUMETSAT door data te transporteren naar verschillende onderzoeksgroepen verspreid over de hele wereld. Onderzoekers kunnen op afstand toegang krijgen tot data die elders zijn opgeslagen.

In feite transformeert het netwerk alle vormen van decentrale samenwerkingen en verbindingen in gedistribueerde dataopslagsystemen, zoals bijvoorbeeld geldt voor de biobanken in de medische wetenschappen.

Er vindt voortdurende vernieuwing en ontwikkeling plaats op het gebied van beleid, processen, architectuur, automatisering, veiligheid en betrouwbaarheid, inclusief maatregelen ter voorkoming en risicobeheersing van DDoS-aanvallen en andere digitale dreigingen op het netwerk. Samen met de onderzoeksgemeenschap onderzoekt SURF de eisen die aan het netwerk worden gesteld om instrumenten, ICT-infrastructuur en data- en rekenvoorzieningen veilig en effectief te verbinden.

Lokale (Tier-2) infrastructuur

In de lokale netwerkinfrastructuur wordt voorzien middels campusoplossingen die specifiek voor de instelling zijn. SURF denkt hierin mee en maakt binnen de SURF-coöperatie sectorafspraken met de leden. Hiervoor worden op dit moment geen middelen vanuit de nationale budgetten voor de digitale infrastructuur voor onderzoek gebruikt. De groeiende datastromen, de toegenomen digitale dreigingen en de recente aanwijzing in het kader van de cyberbeveiligingswet stellen echter dusdanige eisen, dat de huidige beschikbare financiële middelen onvoldoende voorzien in de behoeften die er zijn.

Data-intensief onderzoek

Nederland neemt deel aan tal van internationale samenwerkingen. Tabel 5.3.1 geeft een aantal voorbeelden van de huidige te verwachten behoefte aan bandbreedte vanaf 2029.

Instrument	Netwerkvereisten	Type verkeer	Bijzonderheden
SKA	≥1 Tbps uplink per locatie	Ruwe data, streaming	Real-time datastroom naar SKA Regional Center Network nodes over intercontinentale netwerken
HL-LHC	400 Gbps - 1 Tbps	Batch transfers, metadata	Wereldwijde distributie via WLCG; hoge capaciteit vereist voor synchronisatie
Copernicus / Sentinel	≥40 Gbps per grondstation	Satelliet-downlink	Continue stroom van hoge-resolutie aardobservatiebeelden
XFEL / LCLS-II	10-100 Gbps	Experimentdata	Hoge bandbreedte nodig voor röntgenscans en time-resolved metingen
DUNE	100-200 Gbps	Eventdata, continue uitlezing	Transport van detector naar computing centra, inclusief buffering en reconstructie

Tabel 5.3.1: Overzicht van een aantal grootschalige wetenschappelijke instrumenten en hun netwerkeisen.

Toegang en Veiligheid

Het belang van cybersecurity kan niet genoeg benadrukt worden. Dagelijks zijn er berichten over hacks, ransomware en andere cyberdreigingen. Ook de onderwijs & onderzoekssector is enkele keren geraakt. Cyberveiligheid begint voor een belangrijk gedeelte bij het reguleren van toegang tot de digitale infrastructuur. En dat begint bij het verifiëren van de persoon die toegang vraagt: Identity Access Management (IAM). Er is steeds meer behoefte aan hogere zekerheid over de identiteit van de gebruiker. Enerzijds wordt het data- en applicatielandschap steeds complexer. Anderzijds verwachten gebruikers verwachten dat ze zonder drempels kunnen samenwerken, onderzoeken en studeren, niet alleen nationaal maar ook internationaal. Een nationaal IAM-knooppunt in het internationaal ecosysteem voor onderzoek is daarmee noodzakelijk. Om de weerbaarheid van de onderzoekssector te verhogen tegen aanvallen die als doel hebben om gebruikersaccounts over te nemen, is het zaak om te werken aan het enerzijds uitbreiden van detectie-mechanismen op basis van onder andere AI/ML (anomaly detection) en het anderzijds stimuleren of afdwingen van wachtwoordloze technieken (zoals bijvoorbeeld passkeys) en/of multi-factor authentication voor alle logins. Dit stimuleert internationale interoperabiliteit met behoud van digitale soevereiniteit en het voorkomt vendor lock-in.

Onderzoekers zijn – net als veel andere beroepsgroepen in de maatschappij – in toenemende mate mobiel en

gegevens worden vaak op afstand opgeslagen. Voor onderzoeksinstellingen betekent dit een fundamentele verandering van processen van identity- en access-management, met impact op veel bestaande systemen. Nieuwe technologieën maken het mogelijk om op gestandaardiseerde wijze informatie op te slaan en weer te ontsluiten, waarbij het door cryptografische technieken mogelijk is om te verifiëren dat niet alleen de informatie door een betrouwbare en gezaghebbende bron geleverd is, maar ook dat die informatie niet veranderd is na het uitleveren.

De onderzoekssector heeft een aantal unieke eigenschappen waardoor commerciële software zelden bruikbaar is. Binnen onderzoeksprojecten worden over het algemeen geavanceerde use cases bestudeerd, waarvoor taakspecifieke software wordt ontwikkeld. Deze software kan vervolgens worden gebruikt of verder doorontwikkeld door andere wetenschappers of door commerciële partijen.

In disciplines als Social Sciences en Health die met gevoelige data zoals persoonsgegevens werken is het cruciaal dat toegang wordt verleend volgens de kaders die gelden voor de betreffende data. Dit vereist veelal extra technische maatregelen rondom IAM, toegang, monitoring, logging, data anonimisatie/encryptie en netwerkkarchitectuur. Deze maatregelen dienen met regelmaat getoetst en vernieuwd te worden om cyberdreigingen tegen te gaan. De ontwikkelingen in deze disciplines vereisen dan ook extra expertise om de veiligheid blijvend te kunnen waarborgen.

Benodigde middelen

Tabel 5.3.2. gaat uit van de inschatting wat voor de Nederlandse infrastructuur noodzakelijk is. Internationale samenwerkingen voor digitale infrastructuur (e.g., EuroHPC en EOSC) zijn opgenomen in de sectie over internationale participaties (sectie 5.5), maar zijn integraal onderdeel van de totale behoefte aan netwerkcapaciteit, omdat ze grensoverschrijdende onderzoeks-samenwerking faciliteren. Voor het nationale gedeelte van het netwerk zijn de toekomstige ontwikkelingen op het gebied van quantum communicatie een onzekere factor, en daarmee voor benodigde investeringen. Quantum communicatie vereist een end-to-end infrastructuur, waarbij voorzieningen op de campus benodigd zijn. In de tabellen in dit hoofdstuk worden deze buiten beschouwing gelaten.

Lokaal zit het netwerk voor onderzoek vaak erg verweven met de instellingsnetwerken. Het is daarom moeilijk te achterhalen welke investeringen hierin om gaan. Bij de instellingen waarbij dit wel te achterhalen was tellen de investeringen op tot 600 k€.

Deze investeringen zijn qua omvang niet het grootste probleem. Wel is er lokaal soms te weinig aandacht voor deze instellingsnetwerken, waardoor zij de bottleneck vormen en de beschikbare bandbreedte vanuit het nationale netwerk niet optimaal gebruikt kan worden. De huidige kosten voor het Nederlandse gedeelte van netwerk, toegang en veiligheid benodigd voor data-intensief onderzoek worden in 2025 geschat op 2,5 M€. In de periode 2027-2035 is geschat dat gemiddeld 5,5 M€ additioneel per jaar nodig is.

In totaal wordt dit: (zie tabel 5.3.2)

Observaties en aanbevelingen

- Blijf investeren in een state-of-the-art landelijk onderzoeksnetwerk, met voldoende bandbreedte, redundancy, automatisering en bescherming.
- Zorg ervoor de netwerkcapaciteit (ruim) voldoende is om Nederlandse onderzoekers toegang te verlenen tot de data die data-intensief onderzoek genereert.
- Identity management en autorisatie dienen onder Nederlandse controle te zijn en te blijven.

In M€ per jaar	Nationaal		Lokaal		Data-intensief	
	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel
Netwerk, Toegang, Veiligheid	5,5	7,5	<1	0	2,5	5,5

Tabel 5.3.2: Benodigde jaarlijkse additionele middelen voor netwerk, toegang en veiligheid.

5.4 Expertise en ondersteuning

Om het potentieel van alle in de voorgaande secties benoemde hardware optimaal te kunnen benutten is het noodzakelijk dat gebruikers goed ondersteund worden. Cruciaal hiervoor is dat er zowel op nationaal niveau als op lokaal niveau expertise beschikbaar is om die ondersteuning vorm te geven. Dat is zeker niet alleen ondersteuning bij het gebruik van de systemen, maar steeds meer ook de aanpassing van vele applicaties om nuttig en veilig gebruik te kunnen maken van de rekenkracht van de systemen. In de huidige constellatie zijn er op nationaal niveau SURF, het Netherlands eScience Center en de TDCC's van waaruit expertise en ondersteuning wordt geleverd. Lokaal zijn er de instellingen met hun onderzoeks-ondersteuners en de LDCC's.

Uitgangspunt is dat er goede samenwerking is tussen de lokale expertise en de expertise die op nationaal niveau beschikbaar is. Uitwisseling van informatie, trainingen en mensen tussen nationaal en lokaal niveau moeten ervoor zorgen dat elke onderzoeks-ondersteuner toegang heeft tot de laatste informatie. Stimulering van uitwisseling van informatie dient blijvend en structureel opgepakt worden. Het inregelen van hardware en applicaties om veilig om te gaan met gevoelige data verdient hierbij bijzondere aandacht.

Nationale infrastructuur

SURF levert niet alleen de basisondersteuning die binnen de toegang tot de reken- en datavoorzieningen geregeld is, maar ook ondersteuning op het gebied van (veelgebruikte) applicaties en workflows vanuit het ICT Uitvoeringsplan. Aspecten als ondersteuning bij visualisatievraagstukken zijn hierin ook meegenomen.

Op landelijk niveau zet het Netherlands eScience Center expertise en eScience Research Software Engineers in voor samenwerkingsprojecten met Nederlandse universiteiten en kennisinstellingen.

TDCC's zijn georganiseerd rondom de drie grotere wetenschapsdomeinen en verbinden experts in data-intensief onderzoek tussen onderzoeks-organisaties. Ze richten zich op de breedte van digitale competenties in hun domein en borgen aansluiting op internationale domeininfrastructuren en ontwikkelingen.

De TDCC's faciliteren kennisdeling over disciplines heen op het gebied van data, software en computing, en bevorderen wetenschappelijke samenwerking. Met aandacht voor data stewardship en FAIR implementatie versterken de TDCC's de datamanagementpraktijk in het Nederlandse onderzoeksveld.

Versterking van elk van deze voorzieningen is noodzakelijk om eerder gedane investeringen in infrastructuur en onderzoek te laten renderen. In het geval van expertise en ondersteuning betreft dit vooral menskracht.

Aspecten als outreach naar en met instellingen, het ontwikkelen van communicatiemateriaal, en het ontwikkelen en geven van training aan gebruikers en onderzoeksgemeenschappen zijn in toenemende mate belangrijk, mede als gevolg van het gebruik van AI-technieken op verschillende typen processoren. Het leren toepassen van technieken op quantum computers is beginnende, maar zal zeker in de komende jaren een groter onderdeel gaan vormen van de behoefte aan expertise.

Lokale (Tier-2) infrastructuur

Onderzoekers moeten snel kunnen beschikken over kennis en expertise om de beschikbare digitale voorzieningen optimaal te kunnen gebruiken. Toegankelijkheid van expertise bij de instelling werkt drempelverlagend. Dit betekent dat de behoefte aan (lokale) onderzoeks-ondersteuners in algemene zin aanwezig is.

Het betreft onder meer ondersteuning bij het gebruik van de rekenvoorzieningen, in de vorm van optimalisatie en parallelisatie van applicaties, het gebruik van GPUs, en in toenemende mate de toepassing van AI-technieken bij simulaties en data-onderzoek. Wetenschappelijke programmeurs hebben binnen (grote) onderzoeksgroepen als taak om de in de onderzoeksgroep gebruikte applicaties verder te ontwikkelen en zorg te dragen voor efficiënte implementaties op de beschikbare rekenvoorzieningen. Onontbeerlijk is ook de lokale ondersteuning op het gebied van datamanagement, data-analyse, compliance, en het verbeteren van open- en FAIR-data. De LDCC's spelen hierin ook een belangrijke rol. Een LDCC is onderdeel van een wetenschappelijke instelling en goed toegankelijk voor onderzoeksgroepen.

Zij vormen het eerste aanspreekpunt voor onderzoekers. Onderlinge uitwisseling van kennis en technologie tussen de individuele LDCC's draagt bij aan efficiënt gebruik van de digitale infrastructuur.

De vraag naar toegang tot betrouwbare digitale infrastructuur neemt ook toe binnen het praktijkgericht onderzoek in het algemeen, bij samenwerking met bedrijven, en bij lectoraten die zich bezighouden met data-intensieve thema's, zoals AI-toepassingen, data science en zorgtechnologie. Dat betekent dat er meer behoefte aan ondersteuning en expertise ontstaat, die in het bijzonder de wijze kan ondersteunen waarop praktijkgericht onderzoek uitgevoerd wordt.

De universiteiten hebben de afgelopen jaren veel geïnvesteerd in hun ondersteuning. De ondersteuning bij rekenen en software ligt rond de 15 M€ per jaar en die voor data zelfs rond de 25 M€ per jaar. Met de flinke toename aan data en behoefte aan verwerking van die data verwachten de universiteiten een groei van 20-50 procent per jaar aan ondersteuning nodig te hebben. Daarom is het advies om de universiteiten te ondersteunen met een additionele investering van 20 M€ per jaar en voor praktijkgericht onderzoek op de hogescholen additioneel 6,5 M€ per jaar te reserveren.

Data-intensief onderzoek

Een Grootschalige Wetenschappelijke Infrastructuur (GWI) is een unieke, essentiële onderzoeksfaciliteit met een minimale investering van 10 miljoen euro voor vijf jaar, die breed toegankelijk is voor onderzoekers. De onderzoeksfaciliteiten kunnen apparatuur zijn, maar ook verzamelingen van instrumenten, archieven, collecties of digitale netwerken. Dankzij GWI's kunnen onderzoekers vernieuwend wetenschappelijk onderzoek doen. GWI's werken daarnaast als aanjager van maatschappelijke en economische innovatie in alle wetenschappelijke disciplines.

Met het exponentieel groeien van de omvang van de reken- en datavoorzieningen en de hoge eisen die aan de snelheid van het netwerk gesteld worden, is een nauwkeurig ontwerp door specialisten noodzakelijk. De vaak (inter)nationaal gedistribueerde infrastructuur dient bovendien door experts toegankelijk gehouden te worden. De huidige kosten voor het Nederlandse gedeelte van de expertise benodigd voor data-intensief onderzoek worden in 2025 geschat op 3,0 M€. In de periode 2027-2035 is geschat dat gemiddeld 10,5 M€ extra per jaar nodig is (zie tabel 5.4.1).

Benodigde middelen

In M€ per jaar	Nationaal		Lokaal		Data-intensief	
	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel
Expertise & Ondersteuning (incl AI)	15,0	13,0	40,0	26,5	3,0	10,5

Tabel 5.4.1: Benodigde jaarlijkse additionele middelen t.b.v. expertise (menskracht).

Observaties en aanbevelingen

- Ontwikkelingen en investeringen in hardware vereisen een gelijke toename van expertise om de investeringen rendabel te maken.
- Investeer substantieel in menskracht om expertise en ondersteuning te leveren, op zowel nationaal, lokaal als GWI/data-intensief niveau.
- Stimuleer de uitwisseling van informatie en kennis middels trainingen en uitwisselingen van personeel.
- Investeer in de samenwerking tussen lokale en (inter) nationale expertise om het traject voor onderzoekers van en naar de verschillende Tiers te verbeteren.

5.5 Internationale participaties in digitale infrastructuur

Nederland neemt deel in internationale GWI's, maar ook in meer algemene zin aan Europese samenwerkingsverbanden voor digitale infrastructuur. Vaak is SURF hierin de Nederlandse partner; in sommige gevallen in samenwerking met instellingen, en in sommige gevallen als representant van haar leden. Daarnaast zijn er projecten gericht op nieuwe technologieën zoals quantum computing en quantum communicatie waarin SURF met instellingen deelneemt. Tenslotte zijn er projecten gericht op specifieke voor Nederland van belang zijnde wetenschappelijke disciplines met eisen op het gebied van ICT-infrastructuur.

Datavoorzieningen

Op het gebied van datavoorzieningen en data-gerelateerde services zijn EUDAT (European Data Infrastructure) en de verschillende European Open Science Cloud (EOSC) initiatieven Europees-brede projecten en programma's die zich in brede zin bezighouden met ontsluiting en management van data. In algemene zin bieden de Europese datavoorzieningen datamanagement oplossingen en dragen zij bij aan het ontsluiten van lokale en nationale datacollecties. Ze ondersteunen wetenschappers bij het proces van opslaan, delen, beheren, analyseren en hergebruiken van onderzoeksdata, volgens de FAIR-principes (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Nederlandse onderzoekers krijgen hiermee toegang tot internationale datadiensten. In toenemende mate oriënteren deze datavoorzieningen zich op data-soevereiniteit en compliance met EU-wetgeving zoals de AVG en recentelijk de data-acts). De datadiensten zijn opgenomen in de federatieve structuur die EOSC biedt.

Rekenvoorzieningen

Op het gebied van rekenvoorzieningen zijn EGI en EuroHPC initiatieven in Europa. EGI biedt diensten om lokale en nationale cloud en HTC-systemen federatief te ontsluiten voor onderzoek. EuroHPC is de drijvende kracht achter Europese Tier-0 rekenvoorzieningen die gedeeltelijk worden gefinancierd met Europese middelen en gedeeltelijk met middelen vanuit Europese landen die een consortium vormen. Voorbeelden zijn het

LUMI-consortium, met Finland als grootste deelnemer, en het Jules Verne consortium, met Frankrijk als grootste deelnemer. In beide consortia is Nederland thans een zeer bescheiden deelnemer, met incidenteel vrijgemaakte middelen die bijdragen aan investering en operationele kosten. Op het gebied van quantum computing is Nederland penvoerder van een van de gehonoreerde quantum computing projecten met incidentele steun van de nationale overheid. Mogelijkheden voor ondersteuning van dit soort vernieuwingsprojecten (zie ook sectie 5.6) dient structureel te worden, in plaats van incidenteel, zoals nu.

Netwerkvoorzieningen

Nederland neemt deel in grote wetenschappelijke instrumenten, waarbij voor het transport van data grootschalige netwerkfaciliteiten onontbeerlijk zijn. Ook talloze middelgrote en kleine onderzoeksprojecten hebben dagelijks behoefte aan op onderzoek toegespitste connectiviteit, bijvoorbeeld om databanken te koppelen of vanaf afstand te bereiken. National Research and Education Networks (NRENs) wereldwijd koppelen hiervoor hun voorzieningen waardoor een gezamenlijk Global Research & Education Network (GREN) beschikbaar is op mondiaal niveau. Het GREN is een federatief netwerk dat ontworpen is om onderwijs en onderzoek te faciliteren.

Om wetenschappelijk relevant te blijven, moet Nederland actief deelnemen aan het GREN. Dit stelt toenemende eisen. Instrumenten zijn steeds vaker verspreid over de wereld. Ook zijn ze dusdanig groot dat de data-assimilatie op een of meer centrale plekken plaatsvindt. Voor wetenschappelijke analyse van data is transport naar gedistribueerde opslag- en rekenvoorzieningen en naar de wetenschapper zelf noodzakelijk. Daarmee zijn internationale netwerkverbindingen die het GREN biedt van cruciaal belang.

SURF participeert samen met andere NRENs in Europa in organisaties als GÉANT die beleid maken en uitvoeren op het gebied van internationale verbindingen, alsmede in projecten op het gebied van quantum communicatie. Ook neemt SURF deel in samenwerkingsverbanden voor intercontinentale connectiviteit, bijvoorbeeld naar de VS, Canada, Japan en Zuid-Korea. Hiermee heeft Nederland een stevige positie als wereldwijd knooppunt voor wetenschappelijke data.

In brede zin laat Nederland echter in de afgelopen jaren een achteruitgang zien in de aandacht voor intercontinentale connectiviteit. Als deze trend zich voortzet, zal dit niet alleen gevolgen hebben voor Nederland als digitaal handelsland, maar ook voor de positie van de wetenschap in Nederland. Daarnaast gaat er door de digitale dreigingen extra aandacht uit naar nieuwe veilige routes en meer autonomie.

Toegang en veiligheid

In het kader van nationale en internationale samenwerkingen is het verkrijgen van toegang tot elkaars faciliteiten van belang om wetenschappelijke vooruitgang te boeken. Anderzijds dient zeker gesteld te worden dat geen onbevoegden toegang krijgen tot voorzieningen. Met een nationaal federatief authenticatiesysteem kunnen onderzoekers op basis van hun instellingsaccount toegang krijgen tot een breed scala aan faciliteiten binnen én buiten de eigen instelling. Dit gebeurt met innovatieve oplossingen voor identity management, met daarbij de garantie dat nationale en Europese regels op het gebied van beveiliging en privacy nageleefd worden. Publieke waarden, autonomie en een groeiende behoefte aan onafhankelijkheid van Big Tech spelen hierbij ook een rol.

Op het gebied van cybersecurity is internationale samenwerking essentieel. Het is nodig om op vertrouwde wijze Threat Intelligence onderling uit te wisselen en aanvallen op onderzoeksfaciliteiten vroegtijdig te detecteren en mitigeren. Mochten zich onverhoopt toch grote incidenten voordoen, dan is het essentieel snel samen op te kunnen trekken, zodat de impact van het incident beperkt blijft. In internationale cybercrisisoefeningen kan deze samenwerking worden getoetst en verbeterd.

Expertise en ondersteuning

Niet alleen op nationaal niveau, maar ook internationaal wordt gewerkt aan het opbouwen en leveren van expertise aan onderzoekers. Op Europees niveau zijn er de centers of excellence voor verschillende onderzoeksdisciplines waarbinnen wordt gewerkt aan programma's en applicaties. De centers of competence verzorgen trainingen over het efficiënt gebruik van de digitale infrastructuur. Daarnaast zien we nu toenemende aandacht voor AI en quantum toepassingen, ook daar dient Nederland de mogelijkheid te hebben om met inbreng van eigen expertise deel te nemen in Europese samenwerkingen en projecten. SURF, het Nederlands eScience Center en de DCC's zijn hierin betrokken.

Benodigde middelen

In M€ per jaar	Nationaal		Lokaal		Data-intensief	
	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel
Internationale Participaties		9,0				

Tabel 5.5.1: Benodigde jaarlijkse additionele middelen t.b.v. internationale participaties in digitale infrastructuur.

Observaties en aanbevelingen

- Financiële armslag en flexibiliteit zijn nodig om keuzes te kunnen maken over deelnames in internationale samenwerkingen.

5.6 Vernieuwing

Het aanbieden van een blijvend concurrerende digitale infrastructuur voor wetenschappelijk onderzoek is een uitdaging. Immers, de ontwikkelingen in hardware en software technologie gaan dusdanig snel dat inspelen op de ontwikkelingen van belang is om de infrastructuur op peil te houden. Dat vereist niet alleen investeringen in uitbreidingen van bestaande apparatuur, maar ook het verder vooruitkijken naar technologie die aan en soms zelfs achter de horizon ligt. De recente ontwikkelingen in GPU-technologie, mede gedreven door AI-toepassingen, zijn een treffend voorbeeld. Op het gebied van software ontwikkeling en vernieuwing speelt het Netherlands eScience Center een belangrijke rol, in het bijzonder om ontwikkelde software voor een specifieke wetenschappelijke discipline ook toegankelijk te maken voor andere wetenschappelijke disciplines.

Een tweede aspect dat de uitdaging om state-of-the-art te blijven nog groter maakt is de ontwikkeling van het wetenschappelijk onderzoek zelf. De snelheid waarmee bijvoorbeeld detectie- en sensortechnologie zich ontwikkelt is immens. Dit leidt niet alleen tot ongekende wetenschappelijke mogelijkheden, maar heeft ook als voorwaarde dat omgegaan kan worden met de veiligheid en ordes van grootte toename in de hoeveelheid wetenschappelijke data.

Nationale infrastructuur

Om vooruit te kijken loopt nationaal het programma “Vernieuwing van de Kennisbasis”, dat zich richt op nieuwe technologieën en op te ontwikkelen competenties en beleid om die nieuwe technologieën veilig te gebruiken. Thans wordt aandacht gegeven aan:

- Artificial Intelligence;
- Advanced Computing en Networking;
- Veilige omgang met gevoelige data;
- Cloud- en edge-computing;
- Data-processing en data-management;
- Immersieve technologieën;
- Beleid op en toepassing van publieke waarden;
- Softwareontwikkeling en -consolidatie.

In een groot aantal gevallen betreft het hier samenwerkingsprojecten op nationaal en internationaal niveau, wat leidt tot additionele financiering vanuit de instellingen en internationale partners, en een bredere impact.

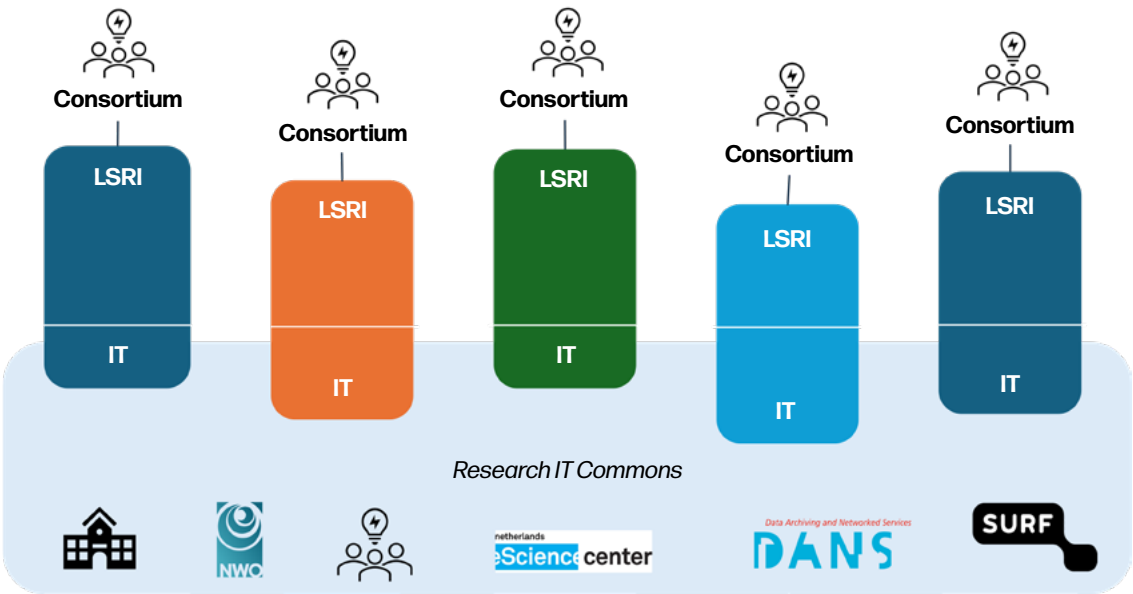
Lokale (Tier-2) infrastructuur

In toenemende mate verdwijnt het onderscheid tussen HPC- en HTC-voorzieningen. Omdat beiden meer en meer dezelfde processortechnologie gebruiken, is integratie van beide typen systemen een mogelijkheid om te komen tot efficiëntere investeringen en ondersteuning. Dat geldt op nationaal niveau, maar ook op lokaal niveau.

Data-intensief onderzoek

Naast naar vernieuwing van de infrastructuur, loont het ook om naar efficiënte inrichting van die infrastructuur te kijken. Uit nadere analyse van de behoeften van de GWI's blijkt dat er veel gelijkenis is in de ICT-eisen en uitdagingen, die niet specifiek met het onderliggende wetenschapsgebied te maken hebben. Dit biedt mogelijkheden voor het ontwikkelen van bouwblokken en oplossingen die inzetbaar en bruikbaar zijn voor zoveel mogelijk verschillende GWI's. Individuele onderzoekers of onderzoeksgroepen kunnen hier dan ook gebruik van maken. Voorbeelden zijn eenduidig access management tot de infrastructuur, gebruik van verschillende opslagtechnieken en toegang tot software en tools. Dit leidt tot een gemeenschappelijke laag (Research Infrastructure Commons), zie figuur 5.6.1.

Direction: Research IT Infrastructure Commons



Figuur 5.6.1: Samenwerking op het gebied van building blocks en oplossingen.

Uiteraard profiteren ook gebruikers die niet vanuit een GWI betrokken zijn van deze vernieuwing van de infrastructuur. De additionele kosten voor het Nederlandse gedeelte van vernieuwing benodigd voor data-intensief onderzoek worden in de periode 2027-2035 geschat op gemiddeld 3,5 M€ per jaar.

Observaties en aanbevelingen

- Vooruitkijken en vernieuwen van kennis en infrastructuur is essentieel voor de geschiktheid van de infrastructuur op langere termijn.
- Het identificeren van gelijke eisen die wetenschappelijke disciplines stellen aan het gebruik van de infrastructuur moet kunnen leiden tot een efficiënte architectuur van de infrastructuur.
- Samenwerking op nationaal en internationaal niveau bevordert vernieuwing en kennisopbouw.

Benodigde middelen

In M€ per jaar	Nationaal		Lokaal		Data-intensief	
	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel
Vernieuwing	3,5	3,5				3,5

Tabel 5.6.1: Benodigde jaarlijkse additionele middelen tbv vernieuwing.

5.7 Totale investeringen

In de voorgaande secties is per aandachtsgebied aangegeven hoe de huidige stand van zaken is, wat de ambities zijn en waarom, en welke additionele middelen nodig zijn om die ambities voor de digitale infrastructuur voor onderzoek in de komende jaren te verwezenlijken. Deze investeringen zijn uitgesplitst naar nationale infrastructuur, lokale infrastructuur bij de instellingen, en de behoeftes van data-intensief onderzoek.

Samengevat leidt dat tot een totale, structurele, additionele investering van 165 M€ per jaar, zoals te zien is in tabel 5.7.1. Dit is een evenwichtig pakket, waarbij de verschillende componenten met elkaar samenhangen.

In M€ per jaar	Nationaal		Lokaal		Data-intensief	
	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel	Nu	Additioneel
Dataopslagvoorzieningen	3,0	4,5	20,0	17,0	4,0	13,5
Rekenvoorzieningen	20,5	14,0	35,0	20,0	4,0	17,0
Netwerk, Toegang, Veiligheid	5,5	7,5			2,5	5,5
Expertise & Ondersteuning (incl AI)	15,0	13,0	40,0	26,5	3,0	10,5
Internationale Participaties		9,0				
Vernieuwing	3,5	3,5				3,5
Totaal	47,5	51,5	95,0	63,5	13,5	50,0

Tabel 5.7.1: Benodigde jaarlijkse additionele middelen, verdeeld over nationaal, lokaal en data-intensief onderzoek, samen 165 M€.

06

Conclusies en aanbevelingen

Digitale infrastructuren vormen de ruggengraat van modern wetenschappelijk onderzoek, innovatie en productiviteit. Ze stellen onderzoekers in staat om lokaal, nationaal en internationaal samen te werken, data te delen en complexe berekeningen uit te voeren op grote datasets. Continue innovatie en doorontwikkeling van reeds bestaande infrastructuren is cruciaal om gebruikers te laten profiteren van de laatste ontwikkelingen in hardware, software en toepassingen. Waar voorheen hoofdzakelijk bèta-wetenschappers veel gebruik maakten van digitale infrastructuren, is dit gebruik de afgelopen jaren verbreed naar alle wetenschappelijke domeinen, inclusief de sociale en geesteswetenschappen.

De structurele middelen die beschikbaar zijn voor de digitale infrastructuur voor onderzoek zijn in Nederland de afgelopen jaren niet of nauwelijks toegenomen, en zijn ook niet geïndexeerd. Waar veel andere landen wel extra geïnvesteerd hebben in digitale infrastructuren voor onderzoek, is Nederland gezakt in de lijstjes die iets zeggen over de capaciteit van de voor onderzoek beschikbare digitale infrastructuur. Met de fors gestegen kosten voor hardware en de toename van operationele kosten (datacenters, energie en personeelskosten), gaat de relatieve achteruitgang alleen maar sneller als er geen structureel extra geld wordt vrijgemaakt. Competitief wetenschappelijk onderzoek in Nederland uitvoeren wordt daarmee steeds uitdagender, met nadelige gevolgen van dien: Nederland wordt op korte termijn minder aantrekkelijk voor wetenschappers, en op de langere termijn kan de economie minder buigen op innovatie en kenniswerkers.

Dit adviesrapport maakt duidelijk dat de huidige beschikbare middelen voor de digitale infrastructuur

voor onderzoek op nationaal en instellingsniveau, en op het niveau van data-intensief onderzoek in Nederland, ernstig tekort schieten. Op basis van interactie met gebruikers en relevante stakeholders is een inschatting gemaakt van benodigde additionele middelen om te starten met het terugwinnen van het verloren terrein. Dit betreft niet alleen investeringen in hardware en de bijbehorende operationele kosten, maar zeker ook in menskracht op het gebied van expertise en ondersteuning in de volle breedte, variërend van systeembeheer tot applicatie-ondersteuning, en van workflow optimalisatie tot AI-ondersteuning.

De benodigde structurele investering is fors: er is 165 M€ per jaar extra nodig, min of meer gelijkelijk verdeeld over drie pilaren: (1) nationaal beschikbare digitale infrastructuur (landelijk beschikbare generieke reken- en datavoorzieningen, ondersteuning en expertise), (2) lokaal benodigde digitale infrastructuur bij universiteiten en UMC's (en in toenemende mate ook bij hogescholen voor praktijkgericht onderzoek) en (3) infrastructuur voor wetenschappelijke domeinen waarin data-intensief onderzoek aan de orde is en waarbij de capaciteitseisen dusdanig zijn dat zij de generieke voorzieningen overstijgen.

Aanbevelingen:

- Evalueer tijdig de impulsen in de AI-fabriek en de quantumcomputer om te bezien of en hoe (het gebruik van) dergelijke nieuwe infrastructuren een structurele plek moet krijgen in het bestel voor onderzoek (en onderwijs).
- Onderzoek verankering van infrastructuren die opgebouwd zijn binnen Groeifondsprojecten, opdat de impulsinvesteringen niet verloren gaan.

- Bezie de transitie naar Open Science en Open Science Infrastructuren in samenhang met de digitale infrastructuur voor onderzoek, om doublures te voorkomen en lacunes te vermijden. Vanuit onder andere de topsectoren wordt bepleit om met betrekking tot Open Science infrastructuren verbinding te zoeken en bij te dragen aan maatschappelijk uitdagingen, aan digitale open strategische autonomie en het realiseren van technologische soevereiniteit²⁷.
- Breng samen met de sector in kaart welke digitale infrastructuren zodanig cruciaal zijn of anderszins risico's opleveren dat er in het licht van soevereiniteit nieuwe keuzes overwogen moeten worden.
- De vraag naar toegang tot betrouwbare digitale infrastructuren neemt gestaag toe bij het praktijkgericht onderzoek in het algemeen, bij samenwerking met bedrijven en bij lectoren die zich bezighouden met data-intensieve thema's. Ondersteuning en expertise in de vorm van menskracht is hiervoor noodzakelijk. Breng verder in kaart wat nodig is om het praktijkgericht onderzoek te faciliteren. De resultaten van het onderzoek naar de behoeftes van het praktijkgericht onderzoek moeten dan worden meegenomen in de toekomstige investeringsbeslissingen.

²⁷ Zoals cruciale beleidsontwikkelingen – zoals alleen al binnen EZ – het industrie- en innovatiebeleid, het topsectoren- en publiek-private-partnershipbeleid, nationale technologiestrategie, de ontwikkeling rondom de ROM's.

Appendix A.

Scope van dit rapport

Dit rapport volgt zoveel mogelijk de scope van eerdere adviezen over de nationale digitale infrastructuur voor onderzoek. In aanvulling hierop bespreekt dit rapport dat deel van de lokale en internationale infrastructuur dat nodig is om het gehele ecosysteem in balans te houden, plus de specifieke behoeften van grootschalig data-intensief onderzoek die een buitenproportioneel beslag zouden leggen op het gebruik van de nationale digitale infrastructuur.

In dit rapport

Dit document bespreekt:

- Nationale digitale infrastructuur: centraal gefinancierde infrastructuur en expertise die vallen onder de huidige nationale ICT-infrastructuurmiddelen, inclusief Uitvoeringsplan investeringen digitale onderzoeksinfrastructuur²⁸. Daarnaast bepleit dit rapport het structureel maken van de Nederlandse deelname aan Europese digitale infrastructuur²⁹. Deze infrastructuur zijn beschikbaar voor alle wetenschappelijke disciplines en worden structureel gefinancierd via NWO en gecoördineerd door SURF. Investeringsplan in het Netherlands eScience Center en in de lokale en thematische Digitale Competentie Centra (DCC's), zoals bedoeld in het genoemde Uitvoeringsplan, vallen hier ook onder.
- Lokale digitale infrastructuur: Lokale faciliteiten en expertise bij universiteiten en Universitaire Medische Centra (UMC's) voor grootschalige rekenbehoeften, data en software, voor zover die in het verlengde liggen van de nationale digitale infrastructuur die binnen de scope van dit rapport vallen. Expertise ten behoeve van praktijkgericht onderzoek aan hogescholen is meegenomen in dit rapport.
- Data-intensief onderzoek: Faciliteiten en expertise

voor grootschalige rekenbehoeften, dataopslag en datamanagement, netwerk en software voor zeer grootschalig onderzoek dat de NWO-instrumenten voor onderzoeksinfrastructuur overstijgt.

Buiten scope

De volgende aanpalende componenten vallen buiten de scope van dit rapport:

- Open Science Infrastructuur: Het betreft hier de digitale omgevingen voor alle wetenschappelijke werken zoals repositories, publicatieomgevingen, archivering, voor delen en hergebruiken van (sensitieve) data, research software en hardware, protocollen en modellen, en onderwijsmaterialen. Op dit moment worden er lokale en grootschalige infrastructuur ontwikkeld die ervoor zorgen dat uiteindelijk alle infrastructuur voor wetenschap Open Science principes optimaal ondersteunen. Deels geschiedt dat Europees en deels zullen nieuwe nationale componenten nodig zijn. Gecoördineerd door het landelijke Bestuurlijk Overleg Open Science wordt binnenkort geïnventariseerd welke structurele middelen hiervoor nodig zijn naast de gerichte tijdelijke impulsen vanuit regieorgaan Open Science NL en andere subsidiegevers. Ook wordt bekeken op welke terreinen de autonomie en soevereiniteit met betrekking tot Open Science versterkt moet worden.
- Nieuwe digitale infrastructuur die met recente impulsfinanciering worden opgezet: Voorbeelden hiervan zijn de AI-fabriek en de ontwikkeling van de quantumcomputer. De AI-fabriek is complementair aan de genoemde benodigde digitale componenten voor onderzoek in dit rapport, maar heeft een

²⁸ Eerdere rapporten: "Topwetenschap vereist topinfrastructuur" en "Integrale aanpak voor digitalisering in de wetenschap - Uitvoeringsplan investeringen digitale onderzoeksinfrastructuur": <https://www.nwo.nl/sites/nwo/files/documents/Uitvoeringsplan%20investeringsplan%20digitale%20onderzoeksinfrastructuur.pdf>

²⁹ Bedoeld worden hier (niet uitputtend) verbanden als EuroHPC, EOSC, EOSC node, OpenAire.

breder missie. Naast onderzoek spelen de (pre-competitieve) commerciële sector en de publieke sector een grote rol in de financiering en gebruik van de AI-fabriek. De quantumcomputer is geheel nieuw en zal haar waarde dienen te bewijzen. Voor beide voorbeelden zal ruim voordat de impulsfinanciering afloopt, onderzocht moeten worden of en hoe ze een structurele plek kunnen krijgen in het bestel.

- Digitale infrastructuur voor onderzoek bij individuele instellingen die door onderzoeksgroepen zelf aangeschaft en beheerd wordt (de zogeheten Tier-3's).
- Digitale componenten die integraal onderdeel zijn van (grootschalige) wetenschappelijke onderzoeksinfrastructuur.
- Digitale infrastructuur die wordt ontwikkeld in het kader van Groeifondsprojecten: De Groeifondsprojecten hebben eigen financieringsstromen, die losstaan van de nationale ICT-infrastructuur-

middelen, en maken daarom geen deel uit van dit adviesrapport. Het is wel belangrijk dat de investeringen die in het kader van deze projecten worden gedaan in digitale infrastructuur na afloop van het project zo veel mogelijk verankerd worden in structurele opvolging.

- Mogelijke grootschalige investeringen om minder afhankelijk te worden van Big Tech en andere (quasi) monopolisten in het kader van soevereiniteit. Dit geldt bijvoorbeeld voor de aanlanding van zee-kabels in Nederland.
- De gevolgen van het voornemen van de overheid om grote delen van de onderwijs- en onderzoekssector aan te wijzen in het kader van de nieuwe Cyberbeveiligingswet (Cbw/NIS2-richtlijn)³⁰ en andere wet- en regelgeving.
- De (onderdelen van) digitale infrastructuur voor onderzoek die op nationaal en lokaal niveau worden ontwikkeld en onderhouden zonder rechtstreekse overheidsfinanciering.

³⁰ [Europese AI Act goedgekeurd - Digitale Overheid](#), [NIS2-richtlijn NIS2-richtlijn - Digitale Overheid](#)

Appendix B. Afkortingen

AI	Artificial Intelligence (Kunstmatige Intelligentie)
AAI	Authenticatie en Authorisatie Infrastructuur
ALMA	Atacama Large Millimeter Array radiotelescoop
AVG	Algemene Verordening Gegevens
CBW	Cyberbeveiligingswet
Copernicus	Copernicus is the Earth observation component of the European Union's Space programme (ESA)
DCC's	Digitale Competentie Centra
EGI	European Grid Infrastructure
ELT	Extremely Large Telescope
EMBL/ELIXIR	European Molecular Biology Laboratory / European Life sciences Infrastructure
EOSC	European Open Science Cloud
ESO	The European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere
EUDAT	European Data Infrastructure
EuroHPC	European High Performance Computing (Joint Undertaking tussen EC en lidstaten)
FAIR	Findable, Accessible, Interoperable, Reusable
GDP	Gross Domestic Product (bruto binnenlands product)
GÉANT	Gigabit European Academic Network - breed Europese netwerk voor onderzoek en onderwijs
GREN	Global Research & Education Network
GPU	Graphics Processing Unit
GWI	Grootschalige Wetenschappelijke Infrastructuur
HL-LHC	high luminosity- Large Hadron Collider
HPC	High Performance Computing
HTC	High Throughput Computing
IAM	Identity Access Management (Identiteits toegangsbeheer)
LDCC's	Lokale Digitale Competentie Centra
LHC	Large Hadron Collider
LOFAR	LOW Frequency Array - de grootste radiotelescoop die werkt op de laagste frequenties die vanaf de aarde kunnen worden waargenomen.
LSH	Life Science en Health
NORDUnet	Nordic Gateway for Research & Education
NREN	National Research and Education Network
OSNL	Regieorgaan Open Science Nederland
PB	Petabyte
PRACE	Partnership for Advanced Computing in Europe
SKA	Square Kilometre Array - twee complementaire radiotelescopen op twee continenten, in Australië en Zuid-Afrika.
SSH	Social Sciences en Humanities
TCO	Total Cost of Ownership
TDCC's	Thematische Digitale Competentie Centra
Tier-0	Internationale computersystemen
Tier-1	Nationale computersystemen
Tier-2	Regionale/Lokale computersystemen bij universiteiten
UMC's	Universitair Medische Centra

VLT	Very Large Telescope in Chili
WLCG	Worldwide LHC Computing Grid
WSU	Wideband Sensitive Upgrade

Appendix C.

Geconsulteerde partijen

Om het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap inzage te geven in wat er de komende jaren nodig is voor de digitale infrastructuur voor onderzoek hebben NWO en SURF voorliggend adviesrapport geschreven. Op basis van een inventarisatie van infrastructuren, consultatie van betrokken partijen, benchmarking met het buitenland, interviews met gebruikers en eigen inschattingen zijn SURF en NWO gekomen tot een bedrag dat jaarlijks extra nodig is om de digitale infrastructuur voor onderzoek in Nederland weer op een competitief niveau te brengen. Een en ander is gestart in de zomer van 2024 met een inventarisatie van eisen voor de digitale infrastructuur vanuit meerdere wetenschappelijke disciplines. Dat heeft geleid tot het rapport “Computational needs for accelerated scientific discovery” van NWO en SURF van 4 oktober 2024. Vanuit de bevindingen in dit rapport is een kwantificering gemaakt van noodzakelijke investeringen, op zowel nationaal en lokaal niveau als op het niveau van data-intensief onderzoek. Hieronder genoemde partijen en vertegenwoordigers zijn vanaf de zomer van 2025 meerdere keren geconsulteerd, wat geleid heeft tot dit adviesrapport.

De volgende partijen zijn geconsulteerd over de inhoud van dit document:

VH – Ron Minnee, Dick Pouwels en Karlijn Olijslager
UNL – Boudewijn Peters, Darco Jansen en Babs van den Bergh
UMCNL – Wiro Niessen en Petra Drankier
CSC WO (o.a. ICT-directeuren)
CSC HBO (o.a. ICT-directeuren)
CSC UMC (o.a. ICT-directeuren)
HPC-stuurgroep (bestuurders van SURF, UNL, NWO-i en UMCNL)
CDO (topwetenschappers uit verschillende disciplines)
Netherlands eScience Center – Tom Bakker
TDCC's (NES, LSH, SSH) – Ruben Kok, Joanne Yeomans
NWO-i – Peter Spijker

Aan dit rapport hebben meegeschreven:

Ymke van den Berg – SURF
Magchiel Bijsterbosch – SURF
Sam de Fockert – SURF
Daan de Jong – SURF
Sonja Knols – NWO
Ilse Koning – SURF
Naomi Messing – NWO
Peter Michielse – SURF
Raymond Oonk – SURF
Timo Schomann – NWO
Femke Stephan – NWO

³¹ [Computational needs for accelerated scientific discovery - User consultation](#)

Deze publicatie is gelicentieerd onder de Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationaal (CC BY 4.0) licentie. U kunt het werk delen, kopiëren en bewerken, zelfs voor commerciële doeleinden, mits u de oorspronkelijke maker(s) op de juiste manier vermeldt, volgens de voorwaarden van de licentie. Voor meer informatie, zie: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

