

KRACHTIGER KIEZEN VOOR SLEUTELTECHNOLOGIEËN



De Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie (AWTI) brengt gevraagd en ongevraagd advies uit aan regering en parlement. Zijn onafhankelijke adviezen zijn strategisch van aard en gaan over de hoofdlijnen van wetenschaps-, technologie- en innovatiebeleid. De leden van de AWTI zijn afkomstig uit kennisinstellingen en het bedrijfsleven. De raad staat onder voorzitterschap van Uri Rosenthal. De AWTI doet zijn werk vanuit de overtuiging dat het belang van kennis, wetenschap en innovatie voor economie en samenleving groot is en in de toekomst nog verder zal toenemen.

De raad is als volgt samengesteld:

prof. dr. U. (Uri) Rosenthal (voorzitter)
prof. dr. ir. J.P.H. (Jos) Benschop
prof. dr. ing. D.H.A. (Dave) Blank
prof. dr. R. (Roshan) Cools
prof. dr. ir. K. (Koenraad) Debackere
prof. dr. ir. T.H.J.J. (Tim) van der Hagen
dr. ir. S. (Sjoukje) Heimovaara
prof. dr. E.M. (Emmo) Meijer
drs. N. (Nienke) Meijer
prof. dr. E.H.M. (Ellen) Moors
mr. J.J.G. (Anneke) Bovens (secretaris)

Het secretariaat is gevestigd te:

Prins Willem-Alexanderhof 20
2595 BE Den Haag
t. 070 3110920
e. secretariaat@awti.nl
w. www.awti.nl

ISBN: 978-90-77005-85-9

Krachtiger kiezen voor sleuteltechnologieën

januari 2020

Colofon

Fotografie	Bas Kijzers
Ontwerp	2D3D Design
Druk	Quantes
	januari 2020
ISBN	9789077005859

Alle publicaties zijn gratis te downloaden via www.awti.nl.

Auteursrecht

Alle auteursrechten voorbehouden. Mits de bronvermelding correct is, mogen deze uitgave of onderdelen van deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de AWTI. Een correcte bronvermelding bevat in ieder geval een duidelijke vermelding van organisatiernaam en naam en jaartal van de uitgave.

Inhoud

Samenvatting	5
Advies	9
1 Aanleiding: hoe houdt Nederland grip op sleuteltechnologieën?	11
1.1 Sleuteltechnologieën hebben nu al een grote, niet meer weg te denken impact	11
1.2 Nederland doet het goed, maar internationaal gaan de ontwikkelingen sneller	13
1.3 Adviesvraag: hoe kan Nederland sleuteltechnologieën optimaal benutten?	17
2 Advies: zorg voor een integrale aanpak met weloverwogen keuzes en meer middelen	19
2.1 Een integrale aanpak betreft andere beleidsterreinen én publieke waarden	20
2.2 Een integrale aanpak maakt gerichte en doordachte keuzes mogelijk	22
2.3 Meer middelen ondervangen risico's, geven grip, trekken toptalent en vergroten de kans op doorbraken	24
3 Drie aanbevelingen om de integrale aanpak vorm te geven	27
3.1 Aanbeveling 1: zorg voor een portfolio aan nationale sleuteltechnologieprogramma's	27
3.2 Aanbeveling 2: installeer een taskforce Sleuteltechnologieën en een DG-overleg	32
3.3 Aanbeveling 3: investeer extra specifieke middelen	35
Bijlagen	37
Bijlage 1 Definities van sleuteltechnologieën	38
Bijlage 2 Geraadpleegde bronnen	41
Bijlage 3 Gesprekspartners	47

Samenvatting

Sleuteltechnologieën helpen ons met baanbrekende innovaties op alle fronten vooruit. Ze zorgen voor betere medische zorg, schoner vervoer en efficiëntere en schonere productie. Sleuteltechnologieën hebben dus een grote, niet weg te denken impact op wetenschap, samenleving en economie. De ontwikkeling ervan roept echter ook vragen en zorgen op, bijvoorbeeld over veiligheid en privacy. Het zijn vragen die niet alleen binnen landgrenzen zijn op te lossen, omdat de ontwikkeling van sleuteltechnologieën mondiaal is en razendsnel gaat. Hoewel onze kennispositie op dit gebied nu goed is, investeren andere landen er al langer, meer en gericht in. Ons land heeft pas sinds kort sleuteltechnologieën opgenomen in het innovatiebeleid; de publieke middelen ervoor zijn beperkt. Als we de ontwikkeling en toepassing van deze technologieën overlaten aan andere landen, dan worden we afhankelijk van elders gemaakte keuzes die een grote impact hebben op onze samenleving en economie.

De Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie (AWTI) beantwoordt in dit advies de vraag: welke aanpak is nodig om de mogelijkheden van sleuteltechnologieën optimaal te benutten en de negatieve effecten ervan te beheersen?

Voer actief beleid: zorg voor een integrale aanpak, met weloverwogen keuzes en meer middelen

Een integrale aanpak met weloverwogen keuzes en meer middelen is nodig om – samen met internationale partners – de ontwikkeling, toepassing en verspreiding van sleuteltechnologieën in ons land in goede banen te leiden. Alleen met zo'n integrale aanpak kan Nederland zijn vooraanstaande rol behouden.

Een aanpak over departementen heen bundelt de krachten van bedrijfsleven, kennisinstellingen, maatschappelijke organisaties en overheden om sleuteltechnologieën te stimuleren. De regering brengt daarmee de technologische ontwikkelingen, economische kansen, maatschappelijke uitdagingen en publieke waarden bij elkaar. Alleen investeren in technologie volstaat namelijk niet. Voor een succesvolle toepassing van de technologieën zijn ook acties nodig op andere beleidsterreinen, bijvoorbeeld op het gebied van onderwijs, arbeidsmarkt en veiligheid. Integrale afwegingen over alle aspecten die samenhangen met de ontwikkeling en toepassing van sleuteltechnologieën, worden nu niet gemaakt. Interdepartementale afstemming ontbreekt. De nadruk ligt op economische kansen en oplossingen voor maatschappelijke vraagstukken. Waarden, dilemma's en zorgen die leven in de samenleving blijven zo onderbelicht.

Om mee te kunnen blijven doen op het wereldwijde hightechtoneel, moet de regering meer richting geven aan investeringen in en de ontwikkeling van sleuteltechnologieën. De

regering kan nu onvoldoende richting geven aan de ontwikkeling van sleuteltechnologieën. Ze kan nauwelijks middelen en initiatieven bundelen voor meer slagkracht, doordat de financiering voor het grootste deel verloopt via generieke en fiscale instrumenten. De regering faciliteert, en de kennisinstellingen en het bedrijfsleven kiezen. Dit leidt tot verdunning en versnippering. Een integrale aanpak maakt gerichte en doordachte keuzes mogelijk. De regering moet daarvoor een richtinggevend kader schetsen zodat voor alle betrokkenen duidelijk wordt welke strategische afwegingen van belang zijn voor Nederland: voor welke maatschappelijke uitdagingen zijn doorbraken in sleuteltechnologieën nodig? Welke publieke waarden moeten vanaf het begin betrokken worden? Welke sterktes wil Nederland uitbouwen en benutten; in welke niches wil het koploper of aanhaker zijn? In welke technologieën wil Nederland onafhankelijk zijn? Wat zijn de mogelijkheden voor krachtenbundeling met andere nationale, regionale en internationale initiatieven en allianties?

Door te kiezen wordt focus en massa mogelijk, zodat ons land invloed heeft op de ontwikkeling. Kiezen moet, maar dat kan niet tussen sleuteltechnologieën op het algemene niveau van artificiële intelligentie (AI), nanotechnologie of fotonica. In al deze sleuteltechnologieën heeft Nederland een vooraanstaande positie en zijn er volop kansen. Kiezen kan wel op een aantal niveaus dieper: tussen specifieke technologieën, componenten, hun toepassingsmogelijkheden en de sterke en minder sterke kanten van innovatie-ecosystemen.

De regering schetst het richtinggevend kader en roept betrokkenen op om nationale programma's te ontwikkelen om een impuls te geven aan de ontwikkeling van sleuteltechnologieën. De regering kiest niet zelf tussen die programma's, maar vraagt onafhankelijke experts te kiezen met behulp van het geschetste kader. Deze aanpak zorgt voor vereenvoudiging van de huidige strategie voor sleuteltechnologieën. Het zorgt ervoor dat keuzes doordacht en weloverwogen zijn en minder afhankelijk worden van gepolder, gevestigde belangen en sterke lobbyisten.

Een integrale aanpak heeft alleen resultaat als de Nederlandse regering aanzienlijk meer investeert in sleuteltechnologieën dan nu. De AWTI adviseert met klem om tussen de 0,5 en 1 miljard euro per jaar extra beschikbaar te stellen. Op die manier loopt Nederland meer in de pas met andere landen die minimaal 0,1 procent van het bbp specifiek in sleuteltechnologieën investeren. Dit geld is nodig omdat de opgave groter is dan bedrijven, kennisinstellingen en private financiers alleen aankunnen; daarvoor zijn investeringen te risicovol en te omvangrijk. Hogere overheidsinvesteringen maken het bovendien beter mogelijk om aan te sluiten op grote Europese onderzoeks- en innovatieprojecten, om toptalenten aan te trekken en te behouden en om doorbraken in onderzoek en ontwikkeling mogelijk te maken.

Om de integrale aanpak met weloverwogen keuzes en meer middelen te organiseren en te borgen, doet de AWTI drie aanbevelingen aan de regering.

Aanbeveling 1

Zorg voor een portfolio aan nationale sleuteltechnologieprogramma's

Om de kansen van sleuteltechnologieën voor samenleving en economie optimaal te benutten en grip te houden op de negatieve effecten ervan, zijn weloverwogen keuzes nodig. In de keuzes moeten alle aspecten die samenhangen met sleuteltechnologieën worden afgewogen. Om keuzes te kunnen maken op basis van kwaliteit en potentieel – en los van gevestigde belangen – adviseert de AWTI de regering nationale sleuteltechnologieprogramma's te stimuleren. Stel aan kennisinstellingen, het bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties de vraag: wat is er nodig op specifieke technologiegebieden om onze positie internationaal te behouden en te versterken? Betrokkenen stellen nationale sleuteltechnologieprogramma's op waarin ze deze vraag beantwoorden. Zij weten het beste wat er nodig is, hoe ze kunnen aansluiten op internationale allianties en welke regionale initiatieven en clusters ze kunnen betrekken.

Nationale sleuteltechnologieprogramma's bundelen langs de gehele kennis- en innovatieketen onderzoek en ontwikkeling op een specifieke technologie of een combinatie van technologieën. Ze bundelen de krachten en brengen nationale en regionale initiatieven samen. De programma's zijn ambitieus en hebben heldere doelstellingen om doorbraken te bewerkstelligen. Ze sluiten aan op internationale allianties en ontwikkelen ook activiteiten op het gebied van demonstratie, testen en opschaling. Ze zijn interdisciplinair en betrekken publieke waarden in de ontwikkeling van sleuteltechnologieën.

De regering stelt het richtinggevend kader op met daarin de strategische afwegingen die voor Nederland van belang zijn. De regering organiseert vervolgens een proces waarmee op basis van dat afwegingskader gekozen wordt welke nationale programma's extra ondersteuning krijgen. De regering houdt ook de kennisbasis gezond omdat alleen daarmee nieuwe technologieën tot ontwikkeling kunnen komen én het kennisabsorptievermogen op peil blijft.

Aanbeveling 2

Installeer een taskforce Sleuteltechnologieën en een DG-overleg

De AWTI raadt de regering aan een taskforce Sleuteltechnologieën in het leven te roepen. Deze taskforce beheert het portfolio met nationale sleuteltechnologieprogramma's. De taskforce nodigt via calls coalities uit voorstellen te doen voor de programma's en maakt een keuze. Daarbij wordt de taskforce geholpen door onafhankelijke beoordelingscommissies die per call de voorstellen beoordelen. Zij

doen dit aan de hand van het afwegingskader en daarvan afgeleide indicatoren en wegingsfactoren. De raad adviseert de taskforce organisatorisch onder te brengen bij NWO.

Om de integrale aanpak te organiseren en te borgen, is interdepartementale afstemming en coördinatie nodig. De AWTI adviseert om dit te organiseren in een speciaal overleg tussen de directeuren-generaal van de meest relevante ministeries (DG-overleg). Sleuteltechnologieën zijn een gedeelde verantwoordelijkheid; het DG-overleg moet vanuit gedeelde belangen, doelen en middelen een stimulans geven. Het DG-overleg maakt namens de regering het afwegingskader.

Aanbeveling 3

Investeer extra, specifieke middelen

Er zijn ambitieuze plannen ontwikkeld. Het ontbreekt echter aan voldoende publieke middelen om de ambitieuze plannen uit te voeren. De huidige plannen en initiatieven bundelen voornamelijk bestaande inspanningen en middelen, ze bieden niets extra's. De raad vindt dat in combinatie met een integrale aanpak tussen de 0,5 en 1 miljard euro extra per jaar nodig is voor nationale programma's voor sleuteltechnologieën. Dit mag niet ten koste gaan van de generieke investeringen in de brede kennisbasis.



Advies

Aanleiding: hoe houdt Nederland grip op sleuteltechnologieën?

Als technologie een fundamentele impact heeft op wetenschap, samenleving en economie, spreken we van een 'sleuteltechnologie'. Denk aan elektriciteit of recenter aan het internet. Sleuteltechnologieën kunnen voor vernieuwing en verbetering zorgen: betere medische zorg, schoner vervoer, efficiëntere en schonere productie. De ontwikkeling ervan roept echter ook vragen en zorgen op, bijvoorbeeld over veiligheid, milieu en privacy. Hoe kan Nederland een rol van betekenis blijven spelen in de ontwikkeling van sleuteltechnologieën en grip houden op de gevolgen die de toepassing ervan kan hebben?

1.1 Sleuteltechnologieën hebben nu al een grote, niet meer weg te denken impact

Sleuteltechnologieën kunnen baanbrekende innovaties helpen realiseren en hebben grote maatschappelijke impact. Ze staan volop in de belangstelling en spreken tot ieders verbeelding. De media berichten over de ontwikkeling en toepassing ervan: artificiële intelligentie (AI), robots, waterstoftechnologie, zelfrijdende auto's en superbatterijen. De samenleving kan eigenlijk niet meer zonder. Deze technologieën helpen ons nu en straks op alle fronten vooruit: wetenschappelijk, economisch en maatschappelijk. Bijvoorbeeld door oplossingen mogelijk te maken voor vraagstukken op het gebied van klimaat, veiligheid, mobiliteit en zorg.

Wat zijn sleuteltechnologieën?

Er zijn verschillende definities van sleuteltechnologieën (zie bijlage 1). Kenmerkend is dat ze interdisciplinair en sectoroverstijgend zijn, een kennisintensief ontwikkeltraject hebben en grillige innovatiecycli doorlopen. Ze maken baanbrekende proces-, product- en/of diensteninnovaties mogelijk in veel verschillende sectoren. Het zijn veelal clusters van verschillende onderliggende technologieën. Vaak genoemde sleuteltechnologieën zijn: nanotechnologie, kwantumtechnologie, fotonica, ICT, artificiële intelligentie (AI), materiaaltechnologie, geavanceerde productietechnologieën, micro- en nano-elektronica, chemische technologieën en *life sciences* technologieën.

De verwachtingen zijn hooggespannen

Sleuteltechnologieën en hun toepassing in concrete, baanbrekende innovaties worden van groot belang geacht voor toenemende productiviteit en daarmee voor het verdienvermogen van onze economie. Ze leiden tot nieuwe bedrijvigheid, creëren nieuwe markten, vergroten de concurrentiekracht en versterken de arbeidsproductiviteit.¹ Dit is nodig voor een sterke economie, voor welvaart en voor welzijn. Tegelijkertijd kunnen sleuteltechnologieën – samen met sociale innovaties, nieuwe businessmodellen en veranderingen in gedrag – bijdragen aan het oplossen van grote maatschappelijke uitdagingen.² Nieuwe materialen zorgen bijvoorbeeld voor sterkere windturbines en efficiëntere zonnecellen, of voor grotere energieopslagcapaciteit in batterijen.³ Fotonica is nodig voor de ontwikkeling van lichtsystemen die efficiënte groei van gewassen mogelijk maken of voor sensoren die ingezet worden in de precisielandbouw en monitoring van voedselkwaliteit.⁴ Quantumtechnologie moet het mogelijk maken om op grote schaal moleculaire interacties op (sub)atomair niveau te analyseren; dit is weer cruciaal voor het onderzoek naar nieuwe medicijnen.⁵

In de praktijk is het vooral de combinatie van verschillende sleuteltechnologieën die nieuwe doorbraken mogelijk maakt.⁶ Een *lab-on-a-chip* waarmee gepersonaliseerde diagnostiek dicht bij de patiënt mogelijk wordt, ontstaat uit de combinatie van nanotechnologie, geavanceerde materialen, fotonica, *genomics* en AI. AI levert samen met fotonica, nanotechnologie en communicatietechnologieën de bouwstenen voor automatisch rijdende en voor digitaal onderling verbonden voertuigen.⁷

Er is ook onzekerheid over de invloed van sleuteltechnologieën op de samenleving

Sleuteltechnologieën zullen de samenleving alleen gunstig beïnvloeden als we ook de vragen en zorgen over hun mogelijk ontwrichtende invloed adresseren. Digitale platforms zoals Uber en Airbnb bieden ongekende nieuwe mogelijkheden voor de dienstensector, maar leiden ook tot nieuwe ongelijkheden tussen bedrijven, werknemers en consumenten. Nanotechnologie maakt nieuwe, slimme materialen mogelijk, maar roept ook de vraag op wat de impact is van nanodeeltjes op de gezondheid van mens, dier en milieu. *Life sciences* technologieën helpen om gewassen beter bestand te maken tegen droogte en verzilting, maar leiden ook tot zorgen over negatieve langetermijneffecten op de natuur. Kwantumtechnologie, AI en *big data analytics* maken grootschalige en

-
1. European Commission (2018a); Europese Commissie (2015); OESO (2016); Europese Commissie (2017); OESO (2017); Van der Zee (2017); WRR (2013); Schumpeter (1942).
 2. Bakker et al. (2018); OESO (2016); Minister en staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat (2018); Mazzucato (2018a), Topsectoren (2017).
 3. Bakker et al. (2018).
 4. PhotonicsNL, PhotonDelta en Dutch Optics Centre (2018).
 5. Quantum Delta NL (2019).
 6. Bakker et al. (2018); Europese Commissie (2014); Butter et al. (2015).
 7. Bakker et al. (2018).

geavanceerde analyses van grote hoeveelheden gegevens mogelijk en leiden tegelijkertijd tot dilemma's over privacy, veiligheid, transparantie en de verdeling van verantwoordelijkheden. Daarnaast streven grote internationale bedrijven, al dan niet in samenwerking met overheden van grote landen, naar een mondiaal dominante positie in sommige sleuteltechnologieën zoals AI en kwantumtechnologie. Dit brengt weer nieuwe vragen mee. Kan Nederland in de toekomst nog vrij beschikken over deze technologieën? Past de ontwikkeling die ze doormaken bij de Nederlandse (en Europese) maatschappelijke behoeftes?

1.2 Nederland doet het goed, maar internationaal gaan de ontwikkelingen sneller

Nederland is één van de koplopers in de ontwikkeling en toepassing van sleuteltechnologieën, maar andere landen zijn ook koploper en investeren meer en gericht.

Nederland koploper

Het Nederlandse onderzoek naar sleuteltechnologieën is toonaangevend.⁸ Nederlandse onderzoekers publiceren veel en wetenschappers over de hele wereld citeren hen. Het Nederlandse onderzoek is in vrijwel alle sleuteltechnologieën dan ook te typeren als excellent tot zeer excellent⁹; het is internationaal en cross-sectoraal.¹⁰ Nederland is dan ook goed vertegenwoordigd in internationale onderzoeksconsortia en in Europese onderzoeksprogramma's.¹¹ In sommige sleuteltechnologieën, zoals beeldvormingstechnologie en big data, heeft het Nederlandse onderzoek zelfs meer impact dan dat van internationaal gerenommeerde instellingen als MIT en Harvard. Sterke publiek-private samenwerking, onder andere via de topsectoren, is een grote kracht van het Nederlandse onderzoeks- en innovatie-ecosysteem.¹²

Nederland is ook goed in de productie en vercommercialisering van producten en componenten gebaseerd op sleuteltechnologieën.¹³ Dit geldt vooral voor *systems engineering*: het combineren en integreren van sleuteltechnologieën (zoals fotonica en geavanceerde fabricagetechnologieën) in werkende systemen en productieprocessen.¹⁴ Nederlands onderzoek wordt internationaal veel geciteerd in patentaanvragen, vooral op

8. Elsevier Research Intelligence (2018); Europese Commissie (2018b).

9. Excellentie wordt bepaald aan de hand van het aantal citaties. Excellent onderzoek betreft publicaties die tot de top 10% meest geciteerde publicaties ter wereld behoren. Zeer excellent onderzoek betreft publicaties die tot de top 1% meest geciteerde publicaties ter wereld behoren.

10. Dit komt tot uiting in het relatief hoge aantal co-publicaties met internationale partners en met het bedrijfsleven.

11. AINED (2018); Dorst et al. (2016); Vennekens et al. (2019).

12. Europese Commissie (2019a); Van Dijk en Van Saarloos (2017); OESO (2014); Koens et al. (2018).

13. Europese Commissie (2018b).

14. Europese Commissie (2018b); PhotonicsNL, PhotonDelta en Dutch Optics Centre (2018); Quantum Delta NL (2019).

het gebied van micro- en nano-elektronica, fotonica en geavanceerde materialen.¹⁵ De economische waarde van Nederlands onderzoek is dus goed en mondiaal erkend.¹⁶

Nederland heeft verder een goed ontwikkeld innovatie-ecosysteem, met een aantrekkelijke onderzoeksomgeving, een goed opgeleide bevolking en veel samenwerking tussen het bedrijfsleven en de kennisinstellingen. Ons land behoort tot de meest competitieve en innovatieve economieën ter wereld.¹⁷ Het Nederlandse startupecosysteem is groeiende. Amsterdam-StartupDelta staat op de vijftiende plaats van de Genome Global Startup Ecosystem Ranking en op de vijfde plaats binnen Europa.¹⁸ Het aantal startups groeit en de investeringen erin nemen toe. Nederland behoort verder tot de koplopers op het vlak van digitalisering; de industrie scoort hierop goed.¹⁹ Sterke eigenschap is ook hier de publiek-private samenwerking gericht op digitalisering, zoals in het Smart Industry programma. Net als de digitale infrastructuur en de ondernemingscultuur.²⁰

Andere landen investeren meer en gericht in sleuteltechnologieën

Inhoudelijk heeft ons land dus internationaal een goede positie. Het is de vraag of Nederland die positie kan vasthouden, omdat Nederland veel minder gericht investeert in sleuteltechnologieën dan andere landen.

Overheden over de hele wereld proberen technologieontwikkeling te ondersteunen vanuit de overtuiging dat het uiteindelijk leidt tot economische groei, werkgelegenheid, en indirect tot hoger welzijn. Overheden zijn er inmiddels van overtuigd dat zij de nadruk moeten leggen op sleuteltechnologieën.²¹ Samen met het bedrijfsleven investeren zij dan ook volop hierin. Vooral China en de Verenigde Staten concurreren om het mondiale leiderschap in de ontwikkeling van sleuteltechnologieën. Ook de Europese Commissie investeert hier veel in.

De omvang en de vorm van de publieke investeringen verschillen sterk per land. Meerdere landen reserveren omvangrijke bedragen specifiek voor sleuteltechnologieën.²² In Denemarken en Vlaanderen gaat het om enkele honderden miljoenen euro's per jaar, terwijl Duitsland en de VS meerdere miljarden investeren (zie figuur 1). Niet alleen in

15. Europese Commissie (2018b).

16. Elsevier Research Intelligence (2018).

17. Schwab (2019); Europese Commissie (2019a, b, c).

18. Startup Genome (2019).

19. Valdani, Vicari & Associati (VVA) en WIK-Consult (2019); Europese Commissie (2019d).

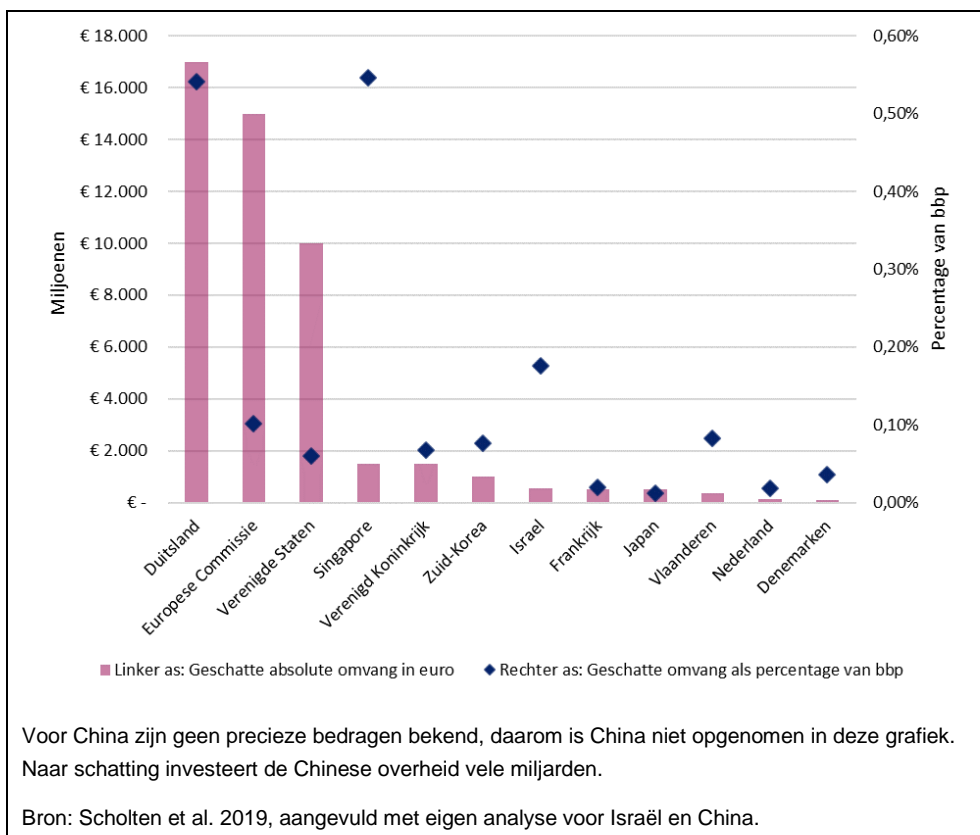
20. Valdani, Vicari & Associati (VVA) en WIK-Consult (2019).

21. Europese Commissie (2009); Europese Commissie (2012); Europese Commissie (2017); Mazzucato (2013); Minister en staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat (2018); Staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat (2019); WRR (2013); Scholten et al. (2019).

22. Scholten et al. (2019) hebben voor verschillende landen in kaart gebracht wat de aanpak en de omvang van specifieke publieke investeringen in sleuteltechnologieën is. Zij hebben daarbij gekeken naar 'up-front' publieke investeringen in sleuteltechnologieën: dit zijn alle investeringen door nationale overheden waarbij er vooraf sprake is geweest van een expliciete keuze om te investeren in deze specifieke technologieën— ongeacht of het initiatief top-down of bottom-up is ontstaan. De keuzes zijn vastgelegd in beleid, convenanten en programma's die specifiek gericht zijn op één of meerdere sleutel-technologieën.

absolute zin, maar ook gerelateerd aan het bruto binnenlands product (bbp) zijn er duidelijke verschillen. Duitsland investeert zowel absoluut als gerelateerd aan het bbp het meeste in sleuteltechnologieën. De absolute omvang van de specifieke investeringen in Singapore is veel kleiner, maar relatief gezien vergelijkbaar met het Duitse niveau. Vlaanderen investeert niet alleen in absolute zin, maar ook relatief gezien meer dan Nederland.

Figuur 1. Jaarlijkse specifieke publieke investeringen in sleuteltechnologieën



De meeste landen kiezen voor een aantal sleuteltechnologieën. Alleen Duitsland en de EU kiezen voor alle sleuteltechnologieën, vanwege het belang voor hun brede economie en hun maakindustrie. Singapore en Denemarken maken scherpe keuzes. Dit om lokale sterktes uit te bouwen, specifieke zwaktes op te vangen of om specifieke regionale uitdagingen aan te kunnen pakken.

Nederland, Frankrijk en België investeren tot nu toe voornamelijk via generiek instrumentarium in wetenschap en innovatie. Dat wil zeggen dat ze research and

development (r&d) in brede zin stimuleren, bijvoorbeeld via fiscale maatregelen. Een deel hiervan komt ten goede aan sleuteltechnologieën, maar welk deel is vaak onbekend.²³

Buitenlandse strategieën voor sleuteltechnologieën

In tegenstelling tot Nederland, dat pas in 2018 sleuteltechnologieën heeft opgenomen in het innovatiebeleid, hebben de Europese Unie en andere landen al langere tijd omvangrijke strategieën.

De Europese Commissie (EC) heeft sinds 2011 een strategie voor sleuteltechnologieën en investeert daarmee zo'n 15 miljard euro per jaar in de ontwikkeling en benutting ervan.²⁴ Duitsland kent sinds 2006 een nationale High Tech Strategie en alleen al in 2018 investeerde de Duitse regering zo'n 15 miljard euro in sleuteltechnologieën.²⁵ De federale overheid in de Verenigde Staten investeert vergelijkbare bedragen.²⁶ China lanceerde in 2015 het ambitieuze 'Made in China 2025-beleid' en het 'Internet Plus-initiatief', waarmee het land wereldleider wil worden in hoogtechnologische sectoren als artificiële intelligentie, robots, ruimtevaart, elektrische voertuigen en microchips. Precieze bedragen zijn niet bekend, maar naar schatting investeert de Chinese overheid vele miljarden.²⁷

Vooraf op het gebied van AI lanceren landen aan de lopende band plannen en strategieën met bijbehorende investeringen. Sinds 2017 hebben ten minste 25 landen, van de Verenigde Staten tot China en van Frankrijk tot Zuid-Korea, een nationale strategie met een omvang van miljarden euro's aangekondigd om te profiteren van de ontwikkeling en mogelijkheden van AI.²⁸ Ook op het gebied van kwantumtechnologie zitten andere landen niet stil. De Europese Commissie initieerde in 2017 een Quantum Technologies Flagship-programma van 1 miljard euro. Het Verenigd Koninkrijk heeft sinds 2013 al een nationale strategie voor kwantumtechnologie, waarin inmiddels 600 miljoen pond is geïnvesteerd. Duitsland, Canada en de Verenigde Staten hebben eveneens omvangrijke nationaal kwantumtechnologieprogramma's. En China kondigde aan om voor 10 miljard dollar een National Laboratory for Quantum Information Sciences te bouwen.²⁹

23. Scholten et al (2019); Rathenau Instituut (2019); OECD (2019); Analyses van het gebruik van fiscale instrumenten geven weinig tot geen inzicht in de technologiegebieden waarvoor de fiscale ondersteuning is gebruikt. RVO heeft ten behoeve van de evaluatie van de WBSO in kaart gebracht voor welke technologiegebieden de WBSO is ingezet. De top-3 bestaat uit ICT (25,9%), mechanische techniek (22,7%) en elektrotechniek (12,1%). Zie De Boer et al. (2019).

24. Scholten et al. (2019).

25. Die Bundesregierung (2018).

26. Scholten et al. (2019).

27. MERICS | Mercator Institute for China Studies (2019).

28. Mols, B. (2019).

29. Quantum Delta NL (2019).

Wie mondiale ontwikkelingen niet bijhoudt, geeft de controle over sleuteltechnologieën weg

Nederland zal de mondiale ontwikkelingen in sleuteltechnologieën moeten bijhouden om de kansen ervan voor samenleving en economie te kunnen benutten op een manier die past bij onze publieke waarden. Als Nederland de ontwikkeling en de toepassing aan andere landen overlaat, dan wordt ons land afhankelijk van ontwikkelingen elders die een grote impact hebben op onze samenleving en economie. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de dominantie van Chinese en Amerikaanse technologiebedrijven in de platformeconomie, in clouddiensten en in de digitale infrastructuur (zoals 5G).³⁰

Door actief beleid te voeren, wordt het voor internationale bedrijven en kennisorganisaties nog aantrekkelijker om de samenwerking te zoeken met Nederlandse partners. Samenwerking in de ontwikkeling van sleuteltechnologieën is essentieel voor een land zo klein als het onze. Het zorgt er ook voor dat het Nederlandse bedrijfsleven meer kansen heeft op de mondiale markt voor deze technologieën. Voor veel sleuteltechnologieën geldt dat de partijen die de markt als eerste succesvol weten te betreden (*first movers*), de markt zullen domineren; ze zijn nauwelijks meer in te halen. Dit *winner-takes-all-effect* treedt op als de eerste partijen in staat zijn zich de kennis en data in hun kernprocessen en toepassingen toe te eigenen en als deze moeilijk te delen zijn.³¹

Als Nederland invloed wil uitoefenen, dan zal het moeten meedoen: in onderzoek en ontwikkeling, in onderwijs en training, in het experimenteren met technologieën en hun toepassingen, en in het verbinden van sleuteltechnologieën met maatschappelijke uitdagingen en publieke waarden.

1.3 Adviesvraag: hoe kan Nederland sleuteltechnologieën optimaal benutten?

De geschetste ontwikkelingen vormen voor de AWTI aanleiding om een advies uit te brengen aan de regering over de volgende vraag:

Welke aanpak is nodig om de mogelijkheden van sleuteltechnologieën optimaal te benutten en de negatieve effecten ervan te beheersen?

30. Europese Commissie (2017); Europese Commissie (2018a); Europese Commissie (2019f). Zie ook berichtgeving in media: Betlem (2018); Hueck en Van Wijnen (2019); Van Wijnen (2018); Broekhuizen (2018); Olsthoorn (2019); De Lange en Leupen (2019).

31. Taskforce AI (2019); AINED (2018); Barwise en Watkins (2018).

Totstandkoming van dit advies

Voor dit advies hebben we deskresearch uitgevoerd naar de rationale voor technologiebeleid, verschillende aanpakken voor technologiebeleid- en governance en de huidige Nederlandse aanpak voor sleuteltechnologieën. We hebben bovendien gekeken naar de ervaringen in het buitenland. In bijlage 2 zijn de referenties opgenomen. Naast deskresearch hebben we gesprekken gevoerd met een aantal experts en beleidsmakers. Een overzicht van de gesprekspartners is opgenomen in bijlage 3.

Dit advies is voorbereid door een projectgroep bestaande uit de raadsleden Nienke Meijer (voorzitter), Roshan Cools en Jos Benschop, en stafleden Annelieke van der Giesen en Kathleen Torrance (penvoerders), Michiel van Well en Odile Ridderinkhof.

Advies: zorg voor een integrale aanpak met weloverwogen keuzes en meer middelen

Een integrale aanpak met weloverwogen keuzes en meer middelen is nodig om – samen met internationale partners – de ontwikkeling, toepassing en verspreiding van sleuteltechnologieën in ons land in goede banen te leiden. Alleen met zo'n allesomvattende aanpak kan Nederland zijn vooraanstaande rol behouden. Dat is nodig om de kansen die sleuteltechnologieën bieden, optimaal te benutten en tegelijkertijd grip te houden op de negatieve effecten ervan.

Een integrale aanpak gaat over de departementen heen en bundelt de krachten van bedrijfsleven, kennisinstituten, maatschappelijke organisaties, burgers en overheden om sleuteltechnologieën te stimuleren. Bij de toepassing van deze technologieën spelen tal van aspecten een rol, niet alleen technische. Daarom is een aanpak die over de beleidsterreinen heen gaat, noodzakelijk. Op die manier zijn ook vragen of zorgen die de toepassingen oproepen, beter te doordenken. De aanpak verbindt dus economische kansen, maatschappelijke uitdagingen en publieke waarden met elkaar.

Om mee te kunnen blijven doen op het wereldwijde hightechtoneel moet de regering meer richting geven aan investeringen in de ontwikkeling van sleuteltechnologieën. De regering moet daarvoor een richtinggevend kader schetsen waarmee duidelijk worden welke strategische afwegingen voor Nederland van belang zijn. De regering moet ook een proces organiseren waarmee op basis van dat kader weloverwogen gekozen wordt voor sleuteltechnologieën waarin ons land het verschil kan maken. Deze aanpak zorgt voor vereenvoudiging van de huidige strategie voor sleuteltechnologieën. Het voorkomt dat middelen verdunnen en slagkracht verloren gaat. Het zorgt ervoor dat keuzes doordacht en weloverwogen zijn en minder afhankelijk worden van gepolder, gevestigde belangen en sterke lobbyisten.

Een integrale aanpak heeft bovendien alleen resultaat als de Nederlandse regering aanzienlijk meer en gericht investeert in sleuteltechnologieën. De AWTI adviseert met klem om tussen de 0,5 en 1 miljard euro per jaar extra beschikbaar te stellen. Het is de enige manier om in de pas te lopen met andere landen.³²

32. De meeste andere landen in de vergelijkende studie van Scholten et al. (2019) besteden minimaal 0,1 procent van het bbp specifiek aan sleuteltechnologieën. Scholten et al. (2019) heeft becijferd dat Nederland 144 miljoen euro per jaar specifiek aan sleuteltechnologieën besteedt. Om ook ongeveer 0,1 procent van het bbp specifiek in sleuteltechnologieën te investeren zou Nederland minimaal 800 miljoen euro per jaar specifiek aan sleuteltechnologieën moeten besteden.

Dit hoofdstuk onderbouwt dit advies. Hoofdstuk 3 doet aanbevelingen aan de regering om het in praktijk te brengen.

2.1 Een integrale aanpak betreft andere beleidsterreinen én publieke waarden

De raad pleit allereerst voor een integrale aanpak van de ontwikkeling, toepassing en verspreiding van sleuteltechnologieën. Dat is nodig om tal van aspecten die samenhangen met deze technologieën, goed te doordenken en te beheersen.

Een integrale aanpak zorgt voor betere verbinding met andere beleidsterreinen

Investeren in alleen technologie – in research & development – volstaat niet. Voor de toepassing van sleuteltechnologieën zijn ook acties nodig op andere beleidsterreinen, bijvoorbeeld onderwijs, arbeidsmarkt en veiligheid. Dat is vanwege de impact die deze technologieën hebben op de samenleving. Ze zorgen voor noodzakelijke technologische doorbraken die oplossingen mogelijk maken voor maatschappelijke uitdagingen, maar de effecten gaan verder dan specifieke sectoren of beleidsterreinen. Tal van andere aspecten dan alleen technologische, spelen een rol. Denk aan verdienmodellen, concurrentieverhoudingen in de markt, de aanwezigheid van geschikte infrastructuur, ruimte in bestaande wet- en regelgeving, beleidsdoelen en de beschikbaarheid van geschoold personeel. Er zijn vaak aanpassingen op al deze terreinen nodig voor een goede toepassing van sleuteltechnologieën.³³

Een integrale aanpak adresseert de zorgen en vragen uit de samenleving

Integrale afwegingen over alle aspecten die samenhangen met de ontwikkeling en toepassing van sleuteltechnologieën, worden nu niet gemaakt. Interdepartementale afstemming ontbreekt. Het sleuteltechnologiebeleid heeft een plek gekregen in het missiegedreven topsectoren- en innovatiebeleid van de overheid dat valt onder het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK). Hierdoor is het accent komen te liggen op economische kansen en oplossingen voor maatschappelijke vraagstukken. Om daarnaast de waarden, dilemma's en zorgen die leven in de samenleving rondom sleuteltechnologieën optimaal te adresseren is nodig dat ook andere ministeries betrokken raken. Te vaak wordt achteraf pas geconstateerd dat een technologie en toepassingen daarvan op weerstand stuiten in de samenleving of dat een technologische ontwikkeling nadelige gevolgen kan hebben. Denk aan genetische modificatie of biometrische sensortechnologie. De regering moet ervoor zorgen dat publieke waarden

33. Zie AWTI (2018) voor aspecten die de benutting en verspreiding van innovaties beïnvloeden. Volberda en Heij (2019); Maclaine Pont et al. (2016).

systematisch vanaf het begin worden betrokken bij de ontwikkeling en toepassing van sleuteltechnologieën, of dat deze waarden zelfs het startpunt vormen. Dat is beter dan ze achteraf te borgen of te repareren via regelgeving en kaders. Een integrale aanpak maakt de koppeling mogelijk tussen enerzijds beleidsacties gericht op kansen benutten, en anderzijds beleidsacties die ongewenste impact moeten voorkomen.

Bestaande rijksbrede strategieën vegen slechts losstaande initiatieven bij elkaar

Niet alleen het ministerie van EZK, ook andere departementen ondersteunen de ontwikkeling en benutting van sleuteltechnologieën. Het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (OCW) doet dit met het wetenschapsbeleid. Vakministeries zoals het ministerie van Defensie, het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS), het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) doen dit via hun programma's om innovatie in hun sectoren en maatschappelijke opgaven te bevorderen. Er zijn wel rijksbrede strategieën en programma's om interdepartementaal innovatie en vernieuwing te stimuleren, bijvoorbeeld de Nationale Digitaliseringsstrategie en ook het recent gelanceerde Strategisch Actieplan voor AI.³⁴ De strategieën en plannen zijn agenderend, noemen ambities en identificeren overkoepelende thema's, maar ze vegen vooral bestaande maatregelen, initiatieven en budgetten bijeen die los van elkaar zijn opgezet. Ze bevatten onvoldoende concrete beleidsmaatregelen, en een samenhangende aanpak voor het adresseren van uitdagingen blijft achterwege. De uitdagingen en hun bijbehorende dilemma's worden wel benoemd, maar er wordt geen verbinding gelegd tussen technologieontwikkeling en publieke waarden.³⁵

34. Daarnaast zijn er pogingen om tot meer samenwerking te komen. Zo werken de secretarissen-generaal van vier ministerie 'opgavegericht' samen en is er een Rijks Innovatie Community opgericht om medewerkers van verschillende departementen samen te brengen om innovatiekennis, -ervaringen en methodieken te delen.

35. Zie ook reflecties door het Rathenau Instituut: Rathenau Instituut (2018); Kool et al. (2017) en in de pers NRC (2019); FD (2019).

2.2 Een integrale aanpak maakt gerichte en doordachte keuzes mogelijk

De regering kan nu onvoldoende richting geven aan de ontwikkeling van sleuteltechnologieën. Ze kan onvoldoende middelen en initiatieven bundelen voor meer slagkracht. Dit komt omdat financiering van onderzoek en innovatie voor het grootste deel gaat via generieke instrumenten (hoger onderwijs- en wetenschapsbeleid en innovatiebeleid) én via indirecte, fiscale instrumenten.³⁶ Waarin geïnvesteerd wordt, wordt overgelaten aan de kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit leidt echter tot versnippering van middelen voor onderzoek en innovatie. Nederlandse partijen zijn gewend om met elkaar in dialoog te treden en in een brede coalitie tot compromissen te komen.³⁷ In deze vaak langdurige processen voeren gevestigde partijen het gesprek, ieder vanuit de eigen gerechtvaardigde belangen. De regering kan dan alleen nog reageren op de initiatieven en keuzes die in dit proces bottom-up tot stand zijn gekomen. Het is onduidelijk hoe en waarom de regering vervolgens keuzes maakt. Zijn het de best georganiseerde technologieën die het meest aan bod komen? Zijn het de sectoren en pleitbezorgers met het beste verhaal?

Met een integrale aanpak kan Nederland beter investeren in sleuteltechnologieën, omdat dit dan gebeurt op basis van weloverwogen en gedragen keuzes.³⁸ De regering moet stimuleren dat het bedrijfsleven, kennisinstellingen en maatschappelijke organisaties keuzes maken en de middelen inzetten voor onderzoek en ontwikkeling in sleuteltechnologieën waarin ons land het verschil kan maken. In diverse technologieën vormen Nederlandse bedrijven en kennisorganisaties internationaal een aantrekkelijke samenwerkingspartner en is er sprake van een goede uitgangspositie. Om het verschil te kunnen maken, is focus en massa nodig (zie ook 2.3). Kiezen voorkomt dat middelen verdunnen en slagkracht verloren gaat. Kiezen geeft ook duidelijkheid aan private partijen over toekomstige verdienmogelijkheden. Daarmee kunnen ook zij investeren in sleuteltechnologieën.

36. Ongeveer 20 procent van de totale rijksoverheidssteun voor r&d en innovatie bestaat uit indirecte fiscale steun, terwijl binnen het innovatiebeleid 90% ingevuld wordt door de indirecte fiscale steun. Het aandeel indirecte fiscale steun voor r&d en innovatie is in Nederland (0,17 procent van het bbp) dan ook hoog vergeleken met andere OESO-landen en is de afgelopen 10 jaar ook sterk gestegen. Alleen België, Frankrijk en Ierland hebben een hoger percentage van het bbp aan fiscale steun voor r&d. Zie Velzing (2018); Vennekens et al. (2019); KNAW (2018b).

37. Goetheer et al. (2018).

38. Zie ook Mazzucato en Perez (2015). Zij maken duidelijk dat bij 'picking winners' het niet zozeer gaat over het wel of niet keuzes maken, want dat gebeurt toch wel. Het gaan er vooral om hoe 'intelligent' de 'picking of directions' gemaakt kunnen worden. In relatie tot missiegedreven innovatiebeleid pleit Mazzucato (2018b) er ook voor dat overheden een 'picking the willing' strategie volgen: "Thus missions require picking the willing: those organizations across the economy (in different sectors, including both the public and private sphere) that are 'willing' to engage with a societally relevant mission."

Welke keuzes moeten gemaakt worden?

Kiezen moet, maar dat kan niet tussen sleuteltechnologieën op het algemene niveau van AI, nanotechnologie of fotonica. In al deze sleuteltechnologieën heeft Nederland een vooraanstaande positie, zijn er volop kansen voor de samenleving en de economie en is verbinding mogelijk met maatschappelijke uitdagingen. De AWTI adviseert niet te kiezen op dit niveau, maar op enkele niveaus dieper: tussen specifieke technologieën, componenten, hun toepassingsmogelijkheden en de sterke en minder sterke kanten van specifieke innovatie-ecosystemen. Hoe de regering er voor kan zorgen dat er gekozen wordt, komt aan de orde in hoofdstuk 3. Kort samengevat adviseert de raad de regering om te stimuleren dat die nationale sleuteltechnologieprogramma's bottom-up tot stand komen die verbindingen leggen tussen verschillende technologieën, toepassingsdomeinen en missies. De regering stelt ook het kader op basis waarvan doordachte keuzes gemaakt kunnen worden.

Een integrale aanpak moet wendbaar zijn

De onzekerheden die gepaard gaan met investeringen in sleuteltechnologieën, maken dat de integrale aanpak wendbaar moet zijn. De aanpak moet allereerst een helder kader en continuïteit bieden voor investeringen. In de tweede plaats moet hij interdepartementale afstemming borgen. In de derde plaats moeten beleidskeuzes, bijvoorbeeld voor specifieke sleuteltechnologieën of voor coalities van kennispartners, kunnen worden aangepast vanwege de snelle, internationale ontwikkelingen. De regering moet kunnen versnellen bij veelbelovende ontwikkelingen, of van richting kunnen veranderen.³⁹ Dat vergt monitoring van de ontwikkelingen in sleuteltechnologieën en van de effecten van de aanpak.

39. In de literatuur wordt dit ook wel een tentatieve governance aanpak genoemd. Een aanpak waarin voldoende ruimte is voor experimenteren, leren, reflecteren en revisie. Kuhlmann et al. (2019) beschouwen *tentative technology governance* als overkoepelend begrip waaronder allerlei nieuwe governance aspecten vallen zoals adaptiviteit, responsiviteit, reflexiviteit, en experimentele governance.

2.3 Meer middelen ondervangen risico's, geven grip, trekken toptalent en vergroten de kans op doorbraken

De afgelopen tijd hebben overheid, bedrijfsleven en kennisinstellingen diverse initiatieven ontwikkeld om een impuls te geven aan de ontwikkeling van sleuteltechnologieën en om deze aan te laten sluiten op maatschappelijke missies en opgaven. Het zijn goede intenties en gerechtvaardigde ambities, maar het ontbreekt aan voldoende publieke middelen om de plannen uit te voeren en om in de voorhoede mee te kunnen blijven doen. De initiatieven bundelen voornamelijk bestaande inspanningen en middelen, ze bieden niets extra's. De raad vindt dat in combinatie met een integrale beleidsaanpak extra middelen hard nodig zijn. Daarvoor bestaat een aantal goede redenen.

Er zijn hogere investeringen nodig dan ontwikkelaars zelf kunnen opbrengen

De ontwikkeling van sleuteltechnologieën is hoogst onzeker en duurt lang. De technologische uitkomsten en toepassingen daarvan zijn moeilijk te voorspellen. Het is een proces waarin ruimte voor experimenten en een lange adem van groot belang zijn. Bedrijven, kennispartners en private financiers investeren zelf volop in technologieontwikkeling, maar de opgave is groter dan zij zelf kunnen opbrengen. Daarom zijn hogere investeringen vanuit de overheid cruciaal. Hogere overheidsinvesteringen maken het bovendien beter mogelijk om grote Europese onderzoeks- en innovatieprojecten aan te vullen (te matchen).⁴⁰ Publieke middelen zijn hiervoor nu vaak ontoereikend, terwijl Nederlandse onderzoekers wel goed gebruik weten te maken van de mogelijkheden in Europese onderzoeksprogramma's.⁴¹

Met hogere investeringen heeft Nederland meer invloed op de ontwikkelrichting

Veel van de ontwikkelingen vinden buiten Nederland plaats en de internationale concurrentie is groot. Niet in de voorhoede blijven, betekent dat anderen het spel en de spelregels bepalen. Alleen als Nederland in de voorhoede mee blijft doen, kan ons land de kansen voor wetenschap, samenleving en economie benutten op een manier die past bij onze publieke waarden. Met een integrale aanpak én meer geld kan Nederland invloed uitoefenen op de ontwikkelrichting, zorgen dat onze bedrijven en kennisorganisaties aantrekkelijk blijven voor internationale samenwerkingspartners, toegang houden tot internationale kennis en netwerken en het bedrijfsleven stimuleren om mee te dingen op mondiale markten. Nederland moet hierbij gebruikmaken van de

40. Matchen duidt op het principe dat kennisinstellingen eigen middelen moeten investeren omdat onderzoeksfinanciers als NWO of de Europese Commissie vaak maar een deel van de totale onderzoekskosten vergoeden.

41. Vennekens et al. (2019).

kracht van andere landen om de ontwikkeling en benutting van sleuteltechnologieën in eigen land te versnellen.

Met hogere investeringen trekt Nederland mondiaal talent aan

Er is veel talent nodig voor de ontwikkeling van sleuteltechnologieën. Dat talent is mondiaal veelgevraagd en het verlaat Nederland als er elders meer kansen zijn.⁴² De aanwezigheid van een goede onderzoeksinfrastructuur en de beschikbaarheid van adequate onderzoeksfinanciering zijn belangrijke randvoorwaarden om toptalent aan te trekken, te ontwikkelen en te behouden.

Toptalenten willen werken bij topinstituten en toonaangevende bedrijven.⁴³ De populariteit van Nederlandse gespecialiseerde onderzoekscentra op gebied van kwantumtechnologie is hier een duidelijk voorbeeld van. Toptalenten en sterke clusters in de kwantumtechnologie trekken internationaal de aandacht van andere talenten en van toonaangevende, grote bedrijven die willen investeren in Nederland.⁴⁴

Hogere investeringen vergroten de kans op doorbraken

De beschikbare middelen voor onderzoek en innovatie raken te veel versnipperd. Daarmee is de omvang van de middelen te beperkt om echte doorbraken te bereiken. Met meer middelen voor een select aantal nationale sleuteltechnologieprogramma's kan Nederland meer focus en massa creëren en meer bereiken. Extra publieke investeringen zullen ook meer private investeringen uitlokken.⁴⁵

Te weinig specifieke middelen voor sleuteltechnologieën

Sinds 2018 wordt onderzoek en innovatie in sleuteltechnologieën gestimuleerd via het missiegedreven topsectoren- en innovatiebeleid van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK).⁴⁶ In topsectorenverband hebben de kennispartners afgesproken om 670 miljoen euro te investeren in sleuteltechnologieën in 2020.⁴⁷ Daarvan is slechts 99,5 miljoen euro publiek geld, terwijl de totale omvang van publieke middelen voor het gehele missiegedreven topsectoren- en innovatiebeleid 1,3 miljard euro is in 2020. Van deze kleine 100 miljoen euro voor sleuteltechnologie is 12 miljoen afkomstig van EZK. De overige middelen zijn voorgenomen budgetten vanuit de TO2-instellingen, NWO en KNAW.⁴⁸

42. Hueck en Van Wijnen (2019a); Taskforce AI (2019).

43. Schwab (2019); AINED (2018); Quantum Delta NL, 2019; KNAW (2018a).

44. Quantum Delta NL (2019).

45. Dit wordt ook wel het hefboomeffect genoemd. Zie KNAW (2018b) en AWTI (2016b).

46. Minister en staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat (2018); Staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat (2019); Topsector HTSM (2019).

47. Via het Kennis- en InnovatieConvenant 2020-2023, waarvoor een Kennis- en InnovatieAgenda Sleuteltechnologieën (KIA-ST) is ontwikkeld.

48. Zie tabel 1 uit het Kennis- en Innovatieconvenant 2020-2023.

Parallel hebben Nederlandse bedrijven en kennisorganisaties ambitieuze nationale agenda's en strategische actieplannen ontwikkeld op het gebied van fotonica, kwantumtechnologie en AI. De staatsecretaris van EZK verwelkomt deze agenda's en actieplannen, maar heeft geen additioneel budget om erin te investeren.⁴⁹ Dit tot grote teleurstelling van initiatiefnemers en experts.⁵⁰

In de 'Kamerbrief groeistrategie voor Nederland op de lange termijn' benoemt het kabinet het belang van sleuteltechnologieën, onderzoek en innovatie voor het toekomstige verdienvermogen van Nederland. Het kabinet kondigt in de brief aan met een strategie te komen voor investeringen in sleuteltechnologieën, maar biedt nog geen specifieke middelen.⁵¹

Zoals beschreven in 1.2 investeren buitenlandse overheden beduidend meer specifieke middelen in sleuteltechnologie dan Nederland.

49. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2019a).

50. Hueck en Van Wijnen (2019b); Olsthoorn (2019); Bronzwaer (2019a en b).

51. Minister van Economische Zaken en Klimaat (2019b).

Drie aanbevelingen om de integrale aanpak vorm te geven

Om te zorgen dat Nederland een vooraanstaande rol kan blijven spelen op het gebied van sleuteltechnologieën, is een integrale aanpak nodig. De regering geeft hiermee extra en gerichte impulsen aan deze technologieën op basis van weloverwogen keuzes. De AWTI vertaalt dit advies naar drie concrete aanbevelingen aan de regering.

De integrale aanpak zoals bepleit in hoofdstuk 2, biedt een kader met spelregels voor de ontwikkeling en benutting van sleuteltechnologieën. Het vormt daarmee een vereenvoudiging van de huidige strategie gericht op sleuteltechnologieën. Het zorgt ervoor dat keuzes voor sleuteltechnologieën weloverwogen gemaakt worden op basis van inhoud in plaats van op gepolder, gevestigde belangen en lobbywerk.

De AWTI doet drie aanbevelingen om dit advies in praktijk te brengen: (1) zorg voor een portfolio aan nationale sleuteltechnologieprogramma's; (2) installeer een taskforce Sleuteltechnologieën en een DG-overleg; (3) investeer extra, specifieke middelen. Dit hoofdstuk licht deze aanbevelingen toe.

3.1 Aanbeveling 1: zorg voor een portfolio aan nationale sleuteltechnologieprogramma's

Om de kansen van sleuteltechnologieën voor samenleving en economie optimaal te benutten en grip te houden op de negatieve effecten ervan, moet Nederland weloverwogen keuzes maken (zie hoofdstuk 2). In de keuzes moeten alle aspecten die samenhangen met sleuteltechnologieën worden afgewogen. Kiezen maakt focus en massa mogelijk, zodat ons land invloed heeft op de ontwikkeling van de gekozen technologieën. Om dit te bereiken, adviseert de AWTI de regering om de totstandkoming van nationale sleuteltechnologieprogramma's te stimuleren. De programma's moeten aansluiten op internationale ontwikkelingen. De regering maakt een afwegingskader en organiseert een proces waarmee op basis van het kader de meest kansrijke programma's gekozen worden voor extra ondersteuning. Tot slot moet de regering de kennisbasis gezond houden omdat die slimme keuzes mogelijk maakt én het kennisabsorptievermogen op peil houdt.

Laat coalities nationale sleuteltechnologieprogramma's ontwikkelen

Kiezen is nodig, maar niet zomaar tussen algemene categorieën zoals AI, nano- of kwantumtechnologie. Deze technologieën zijn allemaal belangrijk en Nederland doet het op diverse onderdelen ervan heel goed. Een uitsluitende keuze zou dus niet verstandig

zijn. Het advies is daarom om op een lager niveau te kiezen. Dat kan door aan kennisinstellingen, het bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties de vraag te stellen: wat is er nodig op het gebied van een specifieke sleuteltechnologie om onze positie internationaal te behouden en te versterken? Stimuleer betrokkenen in alle categorieën om met nationale sleuteltechnologieprogramma's te komen. Zij weten immers het beste wat er nodig is en hoe ze kunnen aansluiten op internationale allianties en regionale initiatieven en hoe ecosystemen te betrekken. Zorg vervolgens voor een proces waarmee weloverwogen en onafhankelijk programma's gekozen worden die extra ondersteuning krijgen. De raad ziet dit als volgt voor zich.

Nationale sleuteltechnologieprogramma's zijn meerjarige programma's van substantiële omvang. In zo'n programma werkt een brede coalitie van kennisinstellingen, bedrijven, maatschappelijke organisaties en burgerplatforms samen. Het beslaat de gehele kennis- en innovatieketen rondom een bepaalde sleuteltechnologie.

De nationale sleuteltechnologieprogramma's bundelen onderzoek en ontwikkeling op een specifieke technologie of op een combinatie van technologieën. De programma's zijn ambitieus en hebben heldere doelstellingen om doorbraken te bewerkstelligen. Ze bieden mogelijkheden voor internationale samenwerking en ontwikkelen ook activiteiten op het gebied van demonstratie, testen en opschaling.

De nationale programma's zijn interdisciplinair en betrekken publieke waarden in de ontwikkeling van sleuteltechnologieën. Een interdisciplinaire aanpak is nodig omdat juist nieuwe toepassingen kunnen ontstaan op het snijvlak van disciplines. Denk bijvoorbeeld aan de inzet van sensortechnologie en *virtual* en *augmented reality* voor cognitieve gedragstherapie. Er is dus samenwerking en uitwisseling nodig tussen bèta- en techniekwetenschappen, sociale wetenschappen en humaniora. Deze samenwerking bevordert ook de ontwikkeling van technologieën en toepassingen die passen bij gedeelde publieke waarden.

Coalities ontwikkelen de voorstellen voor sleuteltechnologieprogramma's. Zij bundelen de krachten en brengen nationale en regionale initiatieven samen. Ze benutten de Nederlandse traditie in publiek-private samenwerkingsverbanden. De coalities zijn nadrukkelijk ook toegankelijk voor jonge bedrijven en beginnende, beloftevolle onderzoekers en maatschappelijke organisaties. De coalities zijn multidisciplinair zodat ze met een interdisciplinaire aanpak en waardenbewust aan de ontwikkeling van sleuteltechnologieën kunnen werken.

De coalities bedenken welke inzet en activiteiten nodig zijn voor de verdere ontwikkeling en toepassing van sleuteltechnologieën. De partijen in een coalitie zorgen daarbij voor

aanvullende middelen (matching) en ze werken met consortiumovereenkomsten die ook het intellectueel eigendom regelen.⁵²

Laat programma's aansluiten op internationale ontwikkelingen en initiatieven

Nederland kan niet alles zelf doen. Veel ontwikkelingen in sleuteltechnologieën vinden buiten ons land plaats. Nederland kan gebruikmaken van de kracht van andere landen en internationaal samenwerken om de ontwikkeling en toepassing van sleuteltechnologieën in eigen land te versnellen. De AWTI adviseert de coalities in de nationale sleuteltechnologieprogramma's nadrukkelijk aan te sluiten bij internationale initiatieven, allianties en programma's.

Internationale samenwerking kan goed in Europees verband. Door goed aanhaakt te blijven met de Brusselse agenda en de keuzes die gemaakt worden in Europees verband kunnen we nationaal voorsorteren op Europese innovatiekeuzes en technologieën. Sleuteltechnologieën staan binnen de Europese Unie hoog op de agenda, er zijn verschillende omvangrijke programma's en initiatieven. Ze bieden veel mogelijkheden voor extra middelen en om krachten te bundelen. Daarvoor is wel nodig dat de Nederlandse kennispartners over voldoende middelen beschikken om de Europese middelen te kunnen aanvullen (matchen).

Internationale samenwerking is kansrijk als internationale partners en talenten de sterktes van Nederland op het gebied van sleuteltechnologieën onderkennen, als ze kansen zien om gezamenlijk doorbraken te realiseren en als ze overtuigd zijn van de aantrekkelijkheid van het Nederlandse kennis- en innovatiesysteem. Van groot belang hiervoor zijn bilaterale samenwerkingsprogramma's, talentuitwisselingsprogramma's en een gecoördineerde aanpak van internationale branding en positionering van Nederland als het gaat om sleuteltechnologieën.⁵³

Laat nationale programma's regionale initiatieven en ecosystemen betrekken

Het speelveld voor kennisontwikkeling en innovatie verplaatst zich steeds meer naar de regio's. In regionale innovatie-ecosystemen werken bedrijven en kennisinstellingen nauw samen in specifieke technologiegebieden en kennisintensieve industrieën. Ze bevatten de cruciale elementen zoals kennisinfrastructuren, sterke publiek-private samenwerkingsverbanden en toptalent voor een stevige positie in internationale netwerken. Verschillende regio's kennen programma's en initiatieven om onderzoek, ontwikkeling en innovatie in sleuteltechnologieën te stimuleren. De AWTI adviseert de coalities in de nationale sleuteltechnologieprogramma's de kracht van regionale

52. Dit is een aanpak die vergelijkbaar is met consortia bij andere nationale en Europese onderzoeksprogramma's.

53. AWTI (2017b) WTI-diplomatie.

innovatie-ecosystemen te benutten en de regionale initiatieven te verbinden met de nationale programma's.

Bied een afwegingskader voor het maken van keuzes

De regering dient een kader te maken waarmee nationale sleuteltechnologieprogramma's weloverwogen gekozen kunnen worden. 'Weloverwogen' betekent: afwegen wat Nederland nodig heeft op de lange termijn en welke belangen daarbij een rol spelen. Afwegingen die thuis horen in dit integrale kader zijn bijvoorbeeld:⁵⁴

- ▶ Maatschappelijke impact op korte en lange termijn.
 - ▶ Welke maatschappelijke behoeften en uitdagingen zijn van belang?
 - ▶ Op welke manier draagt het programma bij aan oplossingen hiervoor, en beantwoordt het vragen over maatschappelijke thema's? Draagt het bij aan oplossingsrichtingen binnen meerdere of binnen één maatschappelijke uitdaging?
- ▶ Belang van publieke waarden en interdisciplinariteit.
 - ▶ Welke publieke waarden moeten vanaf het begin betrokken worden?
 - ▶ Hoe zijn disciplines met elkaar verbonden om tot doorbraken te komen op de snijvlakken van sleuteltechnologieën, wetenschapsgebieden en sectoren? Op welke manier verbindt het programma technologieontwikkeling met maatschappelijke waarden? Hoe wordt gewerkt aan 'waardenbewust ontwikkelen' van sleuteltechnologieën?
- ▶ Economische kansen op korte en lange termijn
 - ▶ Op welke economische kansen moet Nederland vooral inzetten?
 - ▶ In welke mate biedt het programma kansen voor bedrijven voor het ontwikkelen en op de markt brengen van nieuwe toepassingen?
- ▶ Benodigde wetenschappelijke impact op korte en lange termijn.
 - ▶ Welke doorbraken in de technologieontwikkeling zijn nodig?
 - ▶ In hoeverre biedt het programma kansen op doorbraken in de technologieontwikkeling en op welke termijn? Op welke fases in het onderzoek en welke *technology readiness levels* (TRL) richt het programma zich?
- ▶ Ambities voor de positie van Nederland in de EU en in de wereld.
 - ▶ Welke sterktes wil Nederland uitbouwen en benutten om het verschil te kunnen maken?
 - ▶ Op welke niches wil ons land actief zijn? Welke positie hebben Nederlandse bedrijfsleven in internationale waardeketens?

54. Het afwegingskader dat het ministerie van Economische Zaken en Klimaat voor de Kennis- en Innovatieagenda Sleuteltechnologieën ontwikkelde is een goed startpunt. Het AWTI-advies Oppakken en doorpakken (2016) biedt ook aanknopingspunten voor een afwegingskader.

- ▶ Wil Nederland koploper of aanhaker zijn met het programma? In welke mate sluit het programma aan op aanwezige kennis, kunde, infrastructuur en bedrijvigheid?
- ▶ Strategische afwegingen.
 - ▶ Wat zijn strategische prioriteiten voor Nederland?⁵⁵ In welke technologieën wil Nederland onafhankelijk zijn?
 - ▶ Op welke manier sluit het programma aan op die strategische prioriteiten?
- ▶ Mogelijkheden voor versterking van het Nederlandse innovatie-ecosysteem.
 - ▶ Op welke punten kan het Nederlandse innovatie-ecosysteem versterkt worden?
 - ▶ Hoe sluit het programma aan op sterktes van het Nederlandse innovatie-ecosysteem rond het thema van het programma? Benut het programma de sterktes van regionale innovatie-ecosystemen? Verbindt het programma activiteiten langs de gehele onderzoek- en innovatieketen? Biedt het ruimte voor nieuwe en kleine partijen? Is onderzoek en ontwikkeling gekoppeld aan marktcreatie om benutting en verspreiding mogelijk te maken?
- ▶ Mogelijkheden voor krachtenbundeling met andere regionale, nationale en internationale initiatieven en allianties.
 - ▶ Hoe brengt het programma verschillende nationale en regionale initiatieven samen? Hoe sluit het aan op andere allianties en netwerken? Welke kansen biedt het voor internationale samenwerking?

Zorg dat ook de kennisbasis gezond blijft

Keuzes maken uit sterke, nationale programma's en aansluiten op internationale ontwikkelingen, kan alleen als Nederland een stevige en brede kennisbasis voor sleuteltechnologieën behoudt. Deze vruchtbare voedingsbodem voor de ontwikkeling van nieuwe, al dan niet onvermoede, sleuteltechnologieën, is onontbeerlijk. Het blijft nodig hierin te investeren.⁵⁶

De basis versterkt ook het vermogen van Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen om nieuwe kennis te absorberen en te gebruiken voor implementatie in de Nederlandse context (het kennisabsorptievermogen).⁵⁷ Zonder een stevige kennisbasis kan ons land sleuteltechnologieën niet toepassen en benutten ten gunste van de samenleving en economie. Specifieke investeringen hebben dan weinig nut. De kennisbasis bestaat uit de publieke kennisinfrastructuur met instellingen die mensen opleiden en die met

55. Een manier om strategische prioriteiten te bepalen is om 'strategische innovatie assets' te identificeren. Dit zijn kennis, know-how, infrastructuur, onderzoeks- en productiefaciliteiten, bedrijven, waardeketens, ecosystemen en technologieposities die van maatschappelijke waarde en belang zijn voor de huidige en toekomstige concurrentiekracht, welvaart en werkgelegenheid. Zie TNO (2019).

56. AWTI (2016b) en AWTI (2017b).

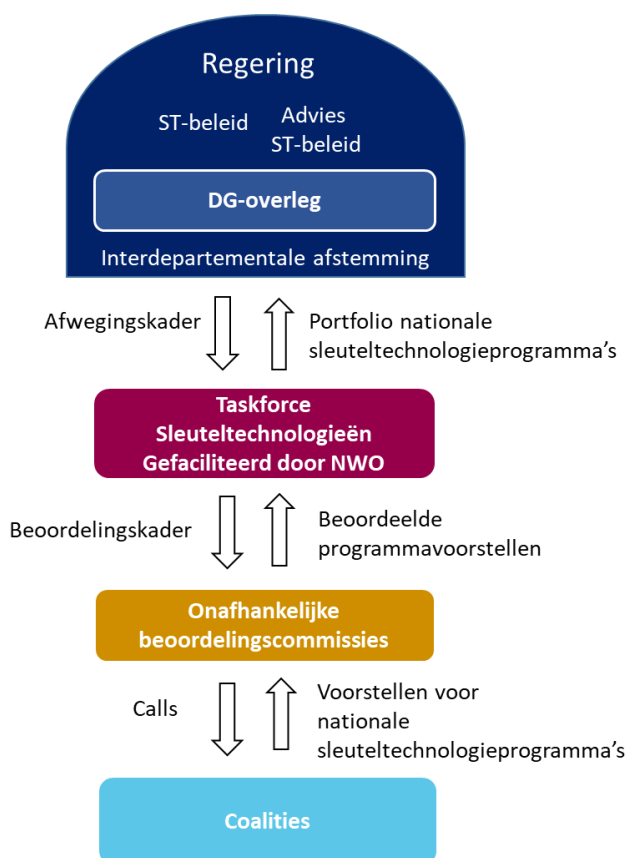
57. AWTI (2016a); AWI (2005); AWTI (2016b).

fundamenteel en toepassingsgericht onderzoek nieuwe kennis ontwikkelen en verspreiden. Het omvat hoogwaardige, toegankelijke onderzoeksfaciliteiten en een digitale onderzoekinfrastructuur.

3.2 Aanbeveling 2: installeer een taskforce Sleuteltechnologieën en een DG-overleg

Om de integrale aanpak te organiseren en te borgen, zijn twee veranderingen in de sturing nodig. Het eerste is een taskforce Sleuteltechnologieën die het portfolio met nationale sleuteltechnologieprogramma's beheert en nationale programma's kiest. Het tweede is een DG-overleg (overleg tussen directeuren-generaal) voor interdepartementale afstemming en coördinatie. Figuur 2 toont hoe de taskforce en het DG-overleg zich tot elkaar verhouden.

Figuur 2 Sturing op nationale sleuteltechnologieprogramma's



Stel een taskforce Sleuteltechnologieën in voor het beheer van de nationale programma's

Een taskforce Sleuteltechnologieën beheert het portfolio van nationale sleuteltechnologieprogramma's (zie 3.1), vertaalt het afwegingskader van de regering in concrete indicatoren en afwegingsfactoren, nodigt via calls coalities uit voorstellen te doen voor de programma's en maakt daaruit een keuze.

Leden worden op persoonlijke titel benoemd door de regering. Zij hebben verschillende achtergronden. Er zijn taskforceleden nodig die bewezen expertise hebben, maar ook jonge en veelbelovende onderzoekers en ondernemers (start-ups en scale-ups) met een frisse blik en gevoel voor *the-state-of-the-art*. De taskforce kent ook een afvaardiging uit het DG-overleg. Deze brengt de strategische prioriteiten voor Nederland in.

De calls voor nationale programma's kunnen variëren. Denk aan calls voor programma's die ontwikkelingen versnellen omdat ze potentie hebben voor verschillende domeinen en missies. Voor programma's die inzetten op de 'vroege-fase-ontwikkeling' zonder zicht op duidelijke toepassingen. Of voor programma's voor crossovers tussen sleuteltechnologieën. Calls kunnen open staan voor alle sleuteltechnologieën óf voor bepaalde technologieën, en ze kunnen strategische prioriteiten adresseren. Om flexibel te kunnen inspelen op ontwikkelingen in sleuteltechnologieën en veranderende prioriteiten, zet de taskforce periodiek nieuwe calls uit.

De raad adviseert de taskforce organisatorisch onder te brengen bij NWO, omdat deze organisatie de benodigde ervaring, procedures en capaciteit in huis heeft om nationale programma's voor sleuteltechnologieën te beheren.

Onafhankelijke beoordelingscommissies adviseren de taskforce over de selectie van nationale sleuteltechnologieprogramma's

De taskforce Sleuteltechnologieën zal bij elke call een select aantal programma's selecteren.

De voorstellen voor nationale programma's worden beoordeeld door een onafhankelijke commissie die specifiek voor een call wordt ingesteld. Deze beoordelingscommissie brengt advies uit aan de taskforce die de uiteindelijke keuze maakt. Leden van deze commissie worden net als de leden van de taskforce op persoonlijke titel benoemd. Zij hebben kennis van specifieke technologiegebieden dan wel van toepassingsdomeinen of sectoren, of ze brengen expertise in over maatschappelijke waarden en overwegingen. De experts kunnen zowel uit Nederland als uit het buitenland komen.⁵⁸

58. De samenstelling en benoeming van deze beoordelingscommissie is vergelijkbaar met beoordelingscommissie bij andere nationale en Europese onderzoeksprogramma's.

De beoordelingscommissie hanteert het afwegingskader van de regering, dat door de taskforce is vertaald in concrete indicatoren en wegingsfactoren.

De middelen voor de nationale programma's worden voor tien jaar toegekend, in twee fases van vijf jaar. Na de eerste vijf jaar is er de mogelijkheid om extra middelen toe te kennen om ontwikkelingen tussentijds te versnellen, of om op de ingeslagen paden bij te sturen. Dit biedt zekerheid voor de langere termijn en benodigde wendbaarheid.

Installeer een DG-overleg voor interdepartementale afstemming en coördinatie

Sleuteltechnologieën zijn een regeringsbrede verantwoordelijkheid en dus niet slechts de verantwoordelijkheid van één departement en één bewindspersoon. Dit betekent dat vanuit gedeelde belangen en doelen en met gezamenlijke middelen een stimulans gegeven wordt aan de ontwikkeling en toepassing van deze technologieën.

Voor coördinatie en afstemming rond sleuteltechnologieën is het DG-overleg het aangewezen gremium.⁵⁹ Aan het DG-overleg nemen directeuren-generaal van departementen deel die maatschappelijke missies formuleren (LNV, EZK, I&W, Defensie, J&V en VWS)⁶⁰ en departementen die acties ondernemen op andere beleidsterreinen zoals onderwijs, arbeidsmarkt en privacy (OCW, SZW en BZK). De regering vraagt het DG-overleg:

- ▶ Het afwegingskader voor nationale sleuteltechnologieprogramma's op de lange termijn te maken. Het verbindt daarvoor de economische kansen met maatschappelijke uitdagingen;
- ▶ In kaart te brengen welke maatschappelijke waarden van belang zijn bij sleuteltechnologieën, hoe deze tegen elkaar afgewogen en geborgd moeten worden;
- ▶ Te zorgen voor afstemming tussen verschillende beleidsterreinen die van belang zijn voor de toepassing en benutting van sleuteltechnologieën.

Maak gebruik van verkenningen

Om de wendbaarheid verder te vergroten, helpt het om het portfolio van nationale sleuteltechnologieprogramma's niet "in beton te gieten". Ontwikkelingen in sleuteltechnologieën, maatschappelijke uitdagingen en publieke waarden zijn niet te voorspellen, maar kunnen wel aanleiding vormen voor aanpassingen in het afwegingskader, in keuzes voor nationale programma's en in coalities van kennispartners. Daarom is het nodig dat het DG-overleg en de taskforce Sleuteltechnologieën gebruikmaken van verkenningen. Verkenningen volgen en

59. Een DG-overleg past in het initiatief van het Overleg van de secretarissen-generaal "om een werkwijze te creëren waarin onconventioneel en grensoverschrijdend wordt samengewerkt" om zo aan grote maatschappelijke opgaven te werken.

60. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2019).

signaleren nieuwe ontwikkelingen in wetenschap, technologie en maatschappij. Het gaat bijvoorbeeld om de opkomst van nieuwe sleuteltechnologieën, hun mogelijke toepassingen, of om nieuwe aandachtspunten voor de samenleving. Hierbij kan gebruikgemaakt worden van, bijvoorbeeld, het technologisch aspectenonderzoek van het Rathenau Instituut, technologiemonitors van toegepast onderzoek organisaties (TO2) en toekomstverkenningen van Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT).

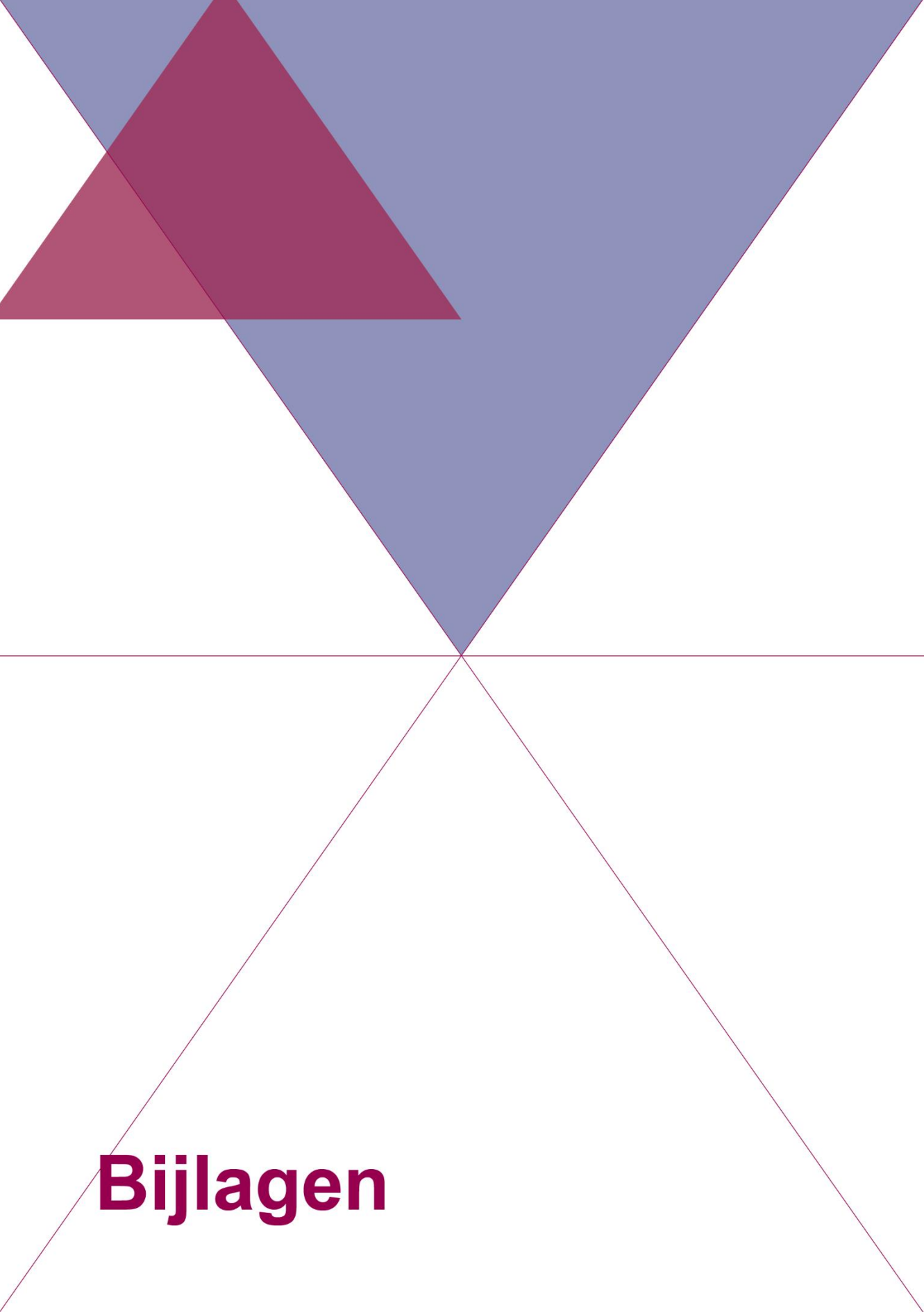
3.3 Aanbeveling 3: investeer extra specifieke middelen

Zoals betoogd in 2.3, zal de regering extra geld beschikbaar moeten stellen voor nationale programma's voor sleuteltechnologieën. Dit moeten specifieke middelen zijn die bovendien niet ten koste mogen gaan van de generieke investeringen in de brede kennisbasis.⁶¹ Als richtlijn kan gelden een bedrag tussen de 0,5 en 1 miljard euro per jaar extra (0,07 - 0,13 procent van het bbp) om de ontwikkeling en toepassing van sleuteltechnologieën te versnellen. Op die manier loopt Nederland meer in de pas met andere landen, die ongeveer 0,1 procent van het bbp hierin investeren.⁶²

De investeringsbeslissingen moeten genomen worden los van departementale belangen. Het is daarmee een gezamenlijke verantwoordelijkheid van de departementen om sleuteltechnologieën te stimuleren.

61. AWTI (2016b); AWTI (2017b).

62. De meeste andere landen in de vergelijkende studie van Scholten et al. (2019) besteden minimaal 0,1 procent van het bbp specifiek aan sleuteltechnologieën. Scholten et al. (2019) heeft becijferd dat Nederland 144 miljoen euro per jaar specifiek aan sleuteltechnologieën besteedt. Om ook ongeveer 0,1 procent van het bbp specifiek in sleuteltechnologieën te investeren zou Nederland minimaal 800 miljoen euro per jaar specifiek aan sleuteltechnologieën moeten besteden.



Bijlagen

Bijlage 1 Definities van sleuteltechnologieën

De Europese Commissie (EC) introduceerde in 2009 het begrip *Key Enabling Technologies* (KETs).⁶³ De Europese Commissie ziet de KETs als de drijvende kracht achter de vernieuwing van de Europese economie, het versterken van haar concurrentievermogen, het creëren van duurzame werkgelegenheid en het adresseren van grote maatschappelijke uitdagingen. KETs zijn kennis- en kapitaalintensief en kennen een hoge r&d-intensiteit en snelle innovatiecycli. Ze zijn multidisciplinair: overbruggen, verbinden en integreren verschillende technologiegebieden. Ze beperken zich niet tot één domein, maar kunnen leiden tot toepassingen in de bredere economie en samenleving. KETs zijn hierdoor de technologieën die, wanneer ze worden doorontwikkeld, aan de basis zullen staan van een andere manier van leven, werken, innoveren en produceren en zullen leiden tot nieuwe producten, diensten en werkwijzen.⁶⁴ De EC heeft zes KETs aangewezen: nanotechnologie, micro- en nano-elektronica (halfgeleidertechnologie), geavanceerde materialen, industriële biotechnologie, fotonica en geavanceerde fabricagetechnologieën.

In 2018 stelde de Europese 'High-level strategy group on industrial technologies'⁶⁵ voor om de sleuteltechnologieën anders in te delen en uit te breiden. Zij bundelen vier bestaande categorieën tot twee bredere (materialen en nanotechnologie; fotonica en micro- en nano-elektronica). Daarnaast verbreden zij industriële biotechnologie tot lifesciencetechnologies en stellen zij voor twee nieuwe sleuteltechnologieën toe te voegen: artificiële intelligentie (AI) en digitale veiligheid en verbondenheid.

De high-level group stelt ook voor de definitie van sleuteltechnologieën te verruimen. Een technologie is een sleuteltechnologie als deze substantieel impact genereert (of zal genereren) op arbeidsplaatsen, welvaart of welzijn; relevant is voor alle fasen van productontwikkeling en voor maatschappelijke en democratische participatie; duurzame ontwikkeling en groene groei bevordert, gezondheid of veiligheid stimuleert; connectiviteit tussen systemen en individuen bevordert; meervoudige en cross sectorale industriële applicaties mogelijk maakt, wereldwijde excellentie en nieuw kennis bevordert en nieuwe vormen van participatie tot stand brengt.⁶⁶ Dit alles zorgt volgens de high-level group voor economische vooruitgang en kan helpen om ongelijkheid terug te dringen. Tegelijkertijd steunen sleuteltechnologieën het industrieel leiderschap van de EU.

63. Europese Commissie (2009).

64. Europese Commissie (2009).

65. Europese Commissie (2018a).

66. Onduidelijk is of een technologie moet voldoen aan alle genoemde criteria om sleuteltechnologie te heten of niet.

In 2017 heeft de Nationale High Level Group Sleuteltechnologieën gekeken naar technologieën die van belang zijn voor de Nederlandse economie.⁶⁷ Deze Nationale High Level Group Sleuteltechnologieën definieert sleuteltechnologieën als volgt: 'Een sleuteltechnologie is een technologie die gekenmerkt wordt door een breed toepassingsgebied of bereik in innovaties en/of sectoren. Ze zijn essentieel bij het oplossen van maatschappelijke uitdagingen en/of leveren een grote potentiële bijdrage aan de economie, door het ontstaan van nieuwe bedrijvigheid en nieuwe markten, het vergroten van de concurrentiekracht, en het versterken van de banengroei. Sleuteltechnologieën maken baanbrekende proces-, product- en/of diensteninnovaties mogelijk. Sleuteltechnologieën zijn relevant voor de wetenschap, maatschappij en de markt'. De Nationale High Level Group clusterde vijftig sleuteltechnologieën in acht clusters: geavanceerde materialen, kwantumtechnologieën, fotonica, digitale technologieën, nanotechnologie, chemische technologieën, *life sciences* technologieën, en engineering & fabricagetechnologieën.

Verschillende foresight studies laten zien dat de huidige rijtjes met sleuteltechnologieën nog steeds accuraat zijn voor de komende 10 tot 15 jaar.⁶⁸ Er wordt wel nagedacht over toekomstige sleuteltechnologieën. Zo heeft de EC in 2019 experts⁶⁹ gevraagd naar hun ideeën over toekomstige sleuteltechnologieën. Deze experts identificeerden de volgende technologieën als cruciaal: biologische transformatie inclusief getherapie, neurotechnologie, mens-machine interactie en *smart farming*; slimme materialen inclusief hernieuwbare plastics, slimme nanomaterialen en 3d-printing; lage-energie data transmissie, inclusief '*smart dust*' (draadloze sensornetwerken) en coherente optica; *Power to X*-technologie (elektrificatie van de procesindustrie), inclusief waterstoftechnologie en Co2-afvang- en -opslagtechnologie; en marine technologie, inclusief digitale visserij en vers waterbronnen onder de zee.

De OESO identificeert en analyseert ook opkomende technologieën. In de Science, Technology and Innovation Outlook van 2016 licht de OESO tien opkomende technologieën eruit die veel potentie hebben: *internet of things*, *big data analytics*, artificiële intelligentie, neurotechnologieën, nano- en microsattelieten, nanomaterialen, 3D-printing (*additive manufacturing*), geavanceerde energie opslagtechnologieën, synthetische biologie en blockchaintechnologie.⁷⁰

De Europese Commissie investeert via het Future Emerging Technologies (FET) Programma⁷¹ in transformatief, grensverleggend, multidisciplinair, lange termijn, vroege

67. Verwijzing naar "MEMO SLEUTELTECHNOLOGIEËN, EZ, NWO, TNO, 28 Juni 2017" in Elsevier Research Intelligence (2018).

68. Direction générale des entreprises (2016); Fraunhofer ISI (2014); Gokhberg (2016); Committee for the Future (2015); Europese Commissie (2015b); Europese Commissie (2015c).

69. Europese Commissie (2019e).

70. OESO (2016).

71. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/policies/future-and-emerging-technologies>.

fase en risicovol onderzoek dat moet leiden tot radicaal nieuwe, opkomende technologieën die op de langere termijn een grote impact kunnen hebben op de economie en de maatschappij. Er is geen vaststaande indeling of definitie voor *Future Emerging Technologies*; alle wetenschappelijke disciplines komen in aanmerking. Het FET programma stimuleert nieuwe crossovers, synergiën en samensmeltingen tussen verschillende wetenschappelijke disciplines.

Naast KETs en FET wordt ook wel gesproken over *general purpose technologies*. Dat zijn technologieën die in bijna alle activiteiten van economische productie en interactie een plek hebben. Ze kennen 1) een brede toepasbaarheid in de meeste sectoren van de economie; 2) een groot potentieel voor technologische verbetering, resulterend in grote kostenreducties en groeiende beschikbaarheid, en 3) complementariteit met andere innovaties in andere domeinen.⁷² Elektriciteit en ICT zijn daar voorbeelden van. Kenmerkend voor een *general purpose technology* is dat de constante stroom van innovaties in toepassingen op zijn beurt de verdere ontwikkeling van deze technologie voortstuwt. ICT wordt ook wel de *key enabler* van de KETs genoemd: de sleuteltechnologieën zijn in meer of mindere mate gebaseerd op een fundament van ICT.⁷³ Sommige zijn rechtstreekse doorontwikkelingen, of 'verbijzonderingen' van ICT (zoals *big data analytics* en AI). Andere sleuteltechnologieën zijn het resultaat van de convergentie van ICT en andere technologieën, zoals geavanceerde robotica, autonome voertuigen en driedimensionaal printen, het *internet of things* en 'Industrie 4.0', waarbij kunstmatige intelligentie in objecten en apparaten ingebouwd wordt. Hierbij komt ICT samen met mechanica en het gebruik van optische en andere sensoren. Weer andere sleuteltechnologieën zijn technologieën die hun verdere ontwikkeling te danken hebben aan de beschikbaarheid van ICT als voornaamste instrument voor onderzoek en ontwikkeling, zoals biotechnologie, *genomics* en nanotechnologie.

72. Bresnahan en Trajtenberg (1995).

73. AWTI (2015).

Bijlage 2 Geraadpleegde bronnen

- ▶ AINED (2018), *AI voor Nederland*, oktober 2018
- ▶ AWT (2005), *Een vermogen betalen – De financiering van universitair onderzoek*, Den Haag, maart 2005
- ▶ AWTI (2015), *Klaar voor de toekomst*, Den Haag, september 2015
- ▶ AWTI (2016a), *Vangen, verwerken, verwaarden – Over het belang van kennisabsorptievermogen*, Den Haag, juli 2016
- ▶ AWTI (2016b), *Houd de basis gezond. Prioriteiten voor extra investeringen in onderzoek en innovatie*, Den Haag, december 2016
- ▶ AWTI (2017a), *WTI-diplomatie. Offensief voor internationalisering van wetenschap, technologie en innovatie*, Den Haag, mei 2017
- ▶ AWTI (2017b), *Onmisbare schakels - De toekomst van het toepassingsgericht onderzoek*, Den Haag, september 2017
- ▶ AWTI (2018), *Verspreiding. De onderbelichte kant van innovatie*, Den Haag, september 2018
- ▶ Bakker, B., G. Gijsbers, Th. Van Bree, M. van Reizen (2018), *De potentiële bijdrage van technologie aan maatschappelijke uitdagingen*, TNO-rapport In samenwerking met Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (Directie Innovatie en Kennis van het DG Bedrijfsleven en Innovatie), TNO 2018 R11465, 30 november 2018
- ▶ Barwise, P. and L. Watkins (2018), "The Evolution of Digital Dominance: How and Why We Got to GAFA", in Martin Moore and Damian Tambini (eds) *Digital Dominance: The Power of Google, Amazon, Facebook and Apple*, OUP, juli 2018
- ▶ Betlem, R. (2018), 'Europa op grote achterstand in strijd om digitale hegemonie', *Het Financieele Dagblad*, 23 november 2018
- ▶ Boer, de J.P., D. Faber, M. Gielen, S. de Haas van Dorsser, P. den Hertog, M. Janssen, A. Vankan en B. Verspagen (2019), *Evaluatie WBSO 2011-2017*, in opdracht van ministerie van EZK, Utrecht, februari 2019
- ▶ Bonzwaer, S. (2019a), 'AI op de agenda, nu de miljarden nog', *NRC*, 9 oktober 2019
- ▶ Bonzwaer, S. (2019b), 'Nederland investeert miljarden in kunstmatige intelligentie: waarom?', *NRC*, 18 oktober 2019
- ▶ Bresnahan, T.F. en M. Trajtenberg (1995), 'General purpose technologies 'Engines of growth'?', *Journal of Econometrics*, (65), pp 83-108
- ▶ Broekhuizen, K. (2018), 'China en VS verdelen samen de wereldwijde techmarkt', *Het Financieele Dagblad*, 11 september 2018
- ▶ Butter, M., M. de Heide, C. Montalvo, K. Dittrich, L. Seiffert, L. Cid Navazo, A. Thielmann, A. Braun, M. Meister, D. Holden, F. Livesy, E. O'Sullivan, C. Hartman, M. Zaldua, N. Olivieri en L. Turno (2015), *mKETs Final report. Assessing support of*

pilot production in multi-KETs activities, D7 Final report of the multi-KETs Pilot lines project, including the tentative policy roadmap, 28 augustus 2015

- ▶ Committee for the Future (2014), *100 opportunities for Finland and the world*, Radical Technology Inquirer (RTI) for anticipation/ evaluation of technological breakthroughs, for the Parliament of Finland, Helsinki
- ▶ Die Bundesregierung (2018), *Forschung und Innovation für die Menschen. Die Hightech-Strategie 2025*, september 2018, Berlijn, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat Grundsatzfragen der Innovationspolitik
- ▶ Dorst, H., J. Deuten en E. Horlings (2016), *De Nederlandse wetenschap in de European Research Area*, Den Haag, Rathenau Instituut
- ▶ Dijck, van J. en W. van Saarloos (2017), *Wetenschap in Nederland: Waar een klein land groot in is en moet blijven*, Amsterdam, KNAW
- ▶ Direction générale des entreprises (2016), *Technologies clés 2020: préparer l'industrie du futur 2020. Etude conduite par le ministère de l'Economie, de l'Industrie et du Numérique*, Parijs
- ▶ Elsevier Research Intelligence (2018), *Kwantitatieve analyse van onderzoek en innovatie in sleuteltechnologieën in Nederland*, Een rapport voor het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, juni 2018
- ▶ Europese Commissie (2009), *Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU*, COM(2009) 512 final, 30 september 2009
- ▶ Europese Commissie (2012), *A European strategy for Key Enabling Technologies – A bridge to growth and jobs*, COM(2012) 341 final, Brussel, 26 juni 2012
- ▶ Europese Commissie (2014), *Roadmap for cross-cutting KETs activities in Horizon 2020*, Luxembourg: Publications Office of the European Union
- ▶ Europese Commissie (2015a), *KETs: Time to act*, Final Report from the High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies, Brussel, juni 2015
- ▶ Europese Commissie (2015b), *Preparing the Commission for future opportunities – Foresight network fiches 2030 working document*, Brussel
- ▶ Europese Commissie (2015c), *The Junction of Health, Environment and the Bioeconomy: Foresight and implications for European Research & Innovation Policies*, Directorate-General for Research and Innovation, Brussel
- ▶ Europese Commissie (2017), *Investing in a smart, innovative and sustainable Industry. A renewed EU Industrial Policy Strategy*, COM(2017) 479 final, Brussel, 13 september 2017
- ▶ Europese Commissie (2018a), *Re-Finding Industry*, Report from the High-Level Strategy Group on Industrial Technologies, Conference document, Brussel, 23 februari 2018

- ▶ Europese Commissie (2018b), *Key Enabling Technologies (KETs) Observatory. Country Profile The Netherlands*, Brussel
- ▶ Europese Commissie (2019a), *European Innovation Scoreboard 2019*, uitgevoerd door Hugo Hollanders, Nordine Es-Sadki and Iris Merkelbach, Maastricht University, als onderdeel van het European Innovation Scoreboards (EIS) project voor de Europese Commissie, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019
- ▶ Europese Commissie (2019b), *Research and Innovation analysis in the European Semester 2019 Country Reports*, Brussel, 13 maart 2019
- ▶ Europese Commissie (2019c), *Country-specific recommendations 2019. Research and Innovation analysis*, Brussel, 5 juni 2019
- ▶ Europese Commissie (2019d), *Digital Economy and Society Index (DESI) 2019 Country Report The Netherlands*, Brussel
- ▶ Europese Commissie (2019e), *Future technology for prosperity, Horizon scanning by Europe's technology leaders*, door Julian Müller en Lesley Potters, september 2019
- ▶ Europese Commissie (2019f), *Strengthening Strategic Value Chains for a future-ready EU Industry*, report of the Strategic Forum for Important Projects of Common European Interest, Brussel, November 2019
- ▶ Financieele Dagblad (2019), 'Commentaar: Afwachtplan voor AI', 9 oktober 2019
- ▶ Fraunhofer ISI (2014), *BMBF Foresight Cycle 2. Study conducted for the Federal Ministry of Education and Research*
- ▶ Gijsbers, G., B. Bakker, Th. Van Bree en A. Geurts (2019), *Strategic Innovation Assets voor Nederland. Een hulpmiddel bij het analyseren van assets in het Nederlandse innovatiesysteem*, In samenwerking met Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (Directie Innovatie en Kennis van het DG Bedrijfsleven en Innovatie), TNO 2019 R11308, september 2019
- ▶ Goetheer, A., F.A. van der Zee, M.J.L. de Heide (2018), *De Staat van Nederland Innovatieland 2018. Missies en 'nieuw' missiegedreven beleid*. Den Haag, TNO
- ▶ Gokhberg L. (ed.) (2016), *Russia 2030: Science and Technology Foresight*, Ministry of Education and Science of the Russian Federation; National Research University Higher School of Economics, Moskou
- ▶ Hueck, H. en J.F. van Wijnen (2019a), 'Bedrijfsleven wil miljard in AI steken', *Het Financieele Dagblad*, 7 oktober 2019
- ▶ Hueck, H. en J.F. van Wijnen (2019b), 'Kabinet vaag over extra budget voor kunstmatige intelligentie', *Het Financieele Dagblad*, 9 oktober 2019
- ▶ KNAW (2018a), *De aantrekkelijkheid van Nederland als onderzoeksland*, Amsterdam, KNAW

- ▶ KNAW (2018b), *Wederzijdse versterking. Hoe publieke en private investeringen in onderzoek en ontwikkeling samenhangen*, Amsterdam, KNAW
- ▶ Koens, L., A. Vennekens, R. Hofman, N. van den Broek-Honingh en J. de Jonge (2018), *Balans van de wetenschap 2018*, Den Haag, Rathenau Instituut
- ▶ Kool, L., J. Timmer, L. Royakkers en R. van Est (2017), *Opwaarderen - Borgen van publieke waarden in de digitale samenleving*, Den Haag, Rathenau Instituut
- ▶ Kuhlmann, S., P. Stegmaier en K. Konrad (2019), 'The tentative governance of emerging science and technology - A conceptual introduction', *Research Policy*, 48 (5), pp. 1091-1097
- ▶ Lange, de, R. en J. Leupen (2019), 'Duitsland vraagt Nederland om steun bij bouw Europese cloud', *Het Financieele Dagblad*, 12 december 2019
- ▶ Maclaine Pont, P., R. van Est, J. Deuten (2016), *Met beleid vormgeven aan socio-technische innovatie*, Den Haag, Rathenau Instituut.
- ▶ Mazzucato, M. (2013), *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs Private Sector Myth*, London, Anthem Press
- ▶ Mazzucato, M. en C. Perez (2015), 'Innovation as growth policy', in J. Fagerberg, S. Laestadius en B. R. Martin (eds), *The Triple Challenge for Europe: Economic Development, Climate Change, and Governance*. Oxford University Press: Oxford, UK, pp. 229-264.
- ▶ Mazzucato, M. (2018a), *Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union. A problem-solving approach to fuel innovation-led growth*, rapport voor de Europese Commissie, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018
- ▶ Mazzucato, M. (2018b), 'Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities', *Industrial and Corporate Change*, Volume 27, Issue 5, oktober 2018, pp. 803–815
- ▶ MERICS | Mercator Institute for China Studies (2019), *Evolving Made in China 2025 - China's industrial policy in the quest for global tech leadership*, Berlin, juli 2019
- ▶ Minister en staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat (2018), 'Naar Missiegedreven Innovatiebeleid met Impact', Brief aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, Den Haag, 13 juli 2018, vergaderjaar 2017–2018, 33 009, nr. 63
- ▶ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2019a), *Rijksbegroting 2020. XIII Economische Zaken en Klimaat*, vergaderjaar 2019–2020, 35 300 XIII
- ▶ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2019b), *Missies voor het topsectoren- en innovatiebeleid*, 26 april 2019
- ▶ Minister van Economische Zaken en Klimaat (2019), 'Groeistrategie voor Nederland op de lange termijn', Brief aan de Voorzitter van de Tweede Kamer, 13 december 2019, 2019Z25198

- ▶ Mols, B. (2019), 'Internationaal ai-beleid. Domme data, slimme computers en wijze mensen', *WRR Working Paper 34*, 2019
- ▶ NRC (2019), 'Commentaar. Nationale AI-strategie gaat achterstand niet verkleinen.', 11 oktober 2019
- ▶ OESO (2014), *OECD Reviews of Innovation Policy: Netherlands 2014*, OECD Publishing, Paris
- ▶ OESO (2016), *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016*, OECD Publishing, Paris
- ▶ OESO (2017), *The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business*, OECD Publishing, Paris
- ▶ OESO (2019), *R&D Tax Incentives: Netherlands 2018*. Directorate for Science, Technology and Innovation, maart 2019, <http://www.oecd.org/sti/rd-tax-stats-netherlands.pdf> , onderdeel van Appelt, S., F. Galindo-Rueda and A. González Cabral (2019), "Measuring R&D tax support: Findings from the new OECD R&D Tax Incentives Database", *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, No. 2019/06, OECD Publishing, Paris
- ▶ Olsthoorn, S. (2019), 'Robbert Dijkgraaf: 'Geef voorsprong kwantum niet uit handen'', *Het Financieele Dagblad*, 16 september 2019
- ▶ PhotonicsNL, PhotonDelta en Dutch Optics Centre (2018), *Nationale Agenda Fotonica*, opgesteld in samenwerking met ministerie van Economische Zaken en Klimaat, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, TNO, TUDelft, NWO en EFRO, juli 2018
- ▶ Quantum Delta NL (2019), *Nationale Agenda Quantum Technologie*, tot stand gekomen in samenwerking met TNO, QuTech, QuSoft, EZK, NWO, QT/e en het Lorentz Instituut, AMS-IX, Techleap.nl (voorheen StartupDelta) en Microsoft, september 2019
- ▶ Rathenau Instituut (2018), *Digitaliseringsstrategie in de praktijk*. Schriftelijke bijdrage rondetafelgesprek Tweede Kamer, vaste commissie voor Economische Zaken en Klimaat, 13 september 2018
- ▶ Rathenau Instituut (2019), *Overheidssteun voor R&D, in % van het BBP (internationaal)*, Datapublicatie wetenschap in cijfers, 12 april 2019
- ▶ Scholten, C., I. Oomens, E. Dujso en G. van der Veen (2019), *Publieke investeringen in sleuteltechnologieën. Een vergelijking van tien focuslanden*. Technopolis Group, 28 mei 2019
- ▶ Schumpeter, J.A. (1942), *Capitalism, socialism and democracy*, Londen: Routledge
- ▶ Schwab, K. (2019), *The Global Competitiveness Report 2019*, Insight Report, Geneva: World Economic Forum
- ▶ Staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat (2019), 'Missiegedreven Topsectoren- en Innovatiebeleid, Bijlage 2 Aanpak Sleuteltechnologieën', Brief van

aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, Den Haag, 26 april 2019, vergaderjaar 2018–2019, 33 009, nr. 70

- ▶ Startup Genome (2019), *Global Startup Ecosystem Report 2019*
- ▶ Taskforce AI (2019), *Algoritmen die werken voor iedereen. Samen bouwen aan onze (digitale) toekomst met Artificial Intelligence*, Position Paper, 18 juli 2019
- ▶ Topsectoren (2017), *Kennis- en Innovatieagenda 2018-2021. Maatschappelijke uitdagingen en sleuteltechnologieën*, december 2017
- ▶ Topsector HTSM (2019), *Kennis- en Innovatieagenda Sleuteltechnologieën 2020-2023*, versie 15 oktober 2019
- ▶ Valdani, Vicari & Associati (VVA) en WIK-Consult (2019), *Monitoring Progress in National Initiatives on Digitising Industry, Country Report The Netherlands*, juli 2019
- ▶ Velzing, E.J. (2018), 'Specifieke woorden, maar generieke daden', *Economisch Statistische Berichten*, Jaargang 103 (4761), 11 mei 2018
- ▶ Vennekens, A., L. Koens en J. de Jonge (2019), *Totale Investerings in Wetenschap en Innovatie 2017-2023*, Den Haag, Rathenau Instituut
- ▶ Volberda, H. en K. Heij (2019), 'Moet Nederland alles inzetten op sleuteltechnologieën?', *MeJudice*, 8 oktober 2019
- ▶ Wijnen, van, J.F. (2018), 'Europees techfront tegen China en Amerika', *Het Financieele Dagblad*, 24 april 2018
- ▶ WRR (2013), *Naar een lerende economie. Investeren in het verdienvermogen van Nederland*, WRR- rapport nr. 90, WRR / Amsterdam University Press, Den Haag / Amsterdam 2013
- ▶ Zee, van der F.A. (2017), 'Technologie en innovatie: een belangrijke sleutel voor de toekomst van Europa', *Economische Statistische Berichten*, Jaargang 102 (4754S), 3 oktober 2017

Bijlage 3 Gesprekspartners

- ▶ Carlo Beenakker Universiteit Leiden en Lorentz Instituut
- ▶ Monique Bosman Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
- ▶ Maja Cassidy Microsoft Australia
- ▶ Karlo van Dam Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- ▶ Jacob Eerbeek Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- ▶ Timen van Haaster HollandBIO
- ▶ Frits van Hout ASML
- ▶ Karin Jongkind Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- ▶ Ilkay Kizil Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
- ▶ Floris Lüntzendörffer Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- ▶ Maarten de Rijke Universiteit van Amsterdam
- ▶ Richard Roemers Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- ▶ Marleen Stikker Waag technology & society
- ▶ Annemiek Verkamman HollandBIO
- ▶ Focco Vijselaar Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie

Prins Willem-Alexanderhof 20

2595 BE Den Haag

t. 070 3110920

e. secretariaat@awti.nl

w. www.awti.nl