

KLAAR VOOR DE TOEKOMST?

NAAR EEN BREDE STRATEGIE VOOR ICT



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. Rosenthal (voorzitter)
prof. dr. ing. D.H.A. Blank
mw. ing. T.E. Bodewes
mw. prof. dr. R. Cools
mw. prof. dr. V.A. Frissen
prof.dr. ir. T.H.J.J. van der Hagen
prof. dr. E.M. Meijer
dr. ir. A.J.H.M. Peels
prof.dr. ir. M.F.H. Schuurmans
prof. dr. L.L.G. Soete
mw. dr. D.J.M. Corbey (secretaris)

Het secretariaat is gevestigd in Den Haag:

Javastraat 42
2585 AP Den Haag
t. 070 31 10 920
e. secretariaat@awti.nl
w. www.awti.nl

ISBN: 9789077005736

Klaar voor de Toekomst?

Naar een brede strategie voor ICT

september 2015

Colofon

Fotografie Shutterstock.com / Vitalinka

Ontwerp 2D3D Design, Den Haag

Druk Quantes, Den Haag

September 2015

ISBN 9789077005736

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
Deel 1: Advies	
1 Inleiding en adviesvraag	11
1.1 Adviesvraag	12
1.2 Focus	13
1.3 Leeswijzer	14
2 Bevindingen	17
2.1 De impact van ICT op productie en allocatie	18
2.2 De impact van ICT op onderzoek en innovatie	21
2.3 De beleidsuitdaging	22
2.4 Conclusies	26
3 Aanbevelingen	29
3.1 Betreffende de publieke verantwoordelijkheid	29
3.2 Betreffende het innovatiebeleid	30
3.3 Betreffende het onderzoeksbeleid	32
3.4 Betreffende het onderwijsbeleid	32
Deel 2: Analyse	
1 Technologische ontwikkeling en de dominantie van ICT	39
1.1 Informatie- en communicatietechnologie	42
1.2 Meer over big data	47
1.3 De aandacht voor ICT in het beleid	50
2 De impact van ICT op productie en allocatie	57
2.1 ICT en veranderingen in productie en allocatie: de bepalende aspecten	58
2.2 ICT en veranderingen in productie en allocatie: de uitwerking	66
3 De impact van ICT op onderzoek en innovatie	83
3.1 ICT en veranderingen in onderzoek en innovatie: de bepalende aspecten	83
3.2 ICT en veranderingen in onderzoek en innovatie: de uitwerking	90
Bijlage 1 Het adviesthema als beschreven in het AWTI-werkprogramma 2014	102
Bijlage 2 Gesprekspartners	103
Bijlage 3 Gebruikte bronnen	105

Samenvatting

Dit advies gaat over de vraag: *Wat is de impact van de huidige technologische ontwikkeling op de structuur en het functioneren van de Nederlandse economie, en welk beleid zou de Nederlandse overheid in dat licht moeten voeren?* Het schetst een beeld van de manier waarop de huidige technologische ontwikkelingen de economie beïnvloeden. Uit de analyse van technologische ontwikkeling, van de gevolgen daarvan voor economie, onderzoek en innovatie, en van de manier waarop Nederland daarop beleid voert, komen de volgende conclusies naar voren.

ICT is een *general purpose technology*, die in bijna alle activiteiten van economische productie en interactie een plek heeft. Het is daarnaast een technologie die onderzoek en innovatie verandert en daarmee een grote impact heeft op economische veranderingsprocessen. Naast ICT zijn er allerhande nieuwe technologieën die impact hebben op de structuur en het functioneren van onze economie. Maar waar deze impact daadwerkelijk substantieel is, is dit tegenwoordig vrijwel altijd terug te voeren tot de ontwikkeling en exploitatie van ICT. Daarmee is ICT de *key enabler* voor bijna alle andere *key enabling technologies*.

Het grote belang van ICT voor onze economische ontwikkeling staat nog altijd te weinig bij beleidsmakers op het netvlies. De betekenis van ICT wordt onderschat, net als de snelheid waarmee ICT zich ontwikkelt. De exponentiële toename van rekenkracht, databeschikbaarheid en datatransmissiesnelheid heeft een impact op onze economie die het voorstellingsvermogen tart. Een omvattende visie op ICT-beleid voor onderzoek, innovatie, productie en allocatie ontbreekt. Een samenhangende benadering van vraagstukken rond ICT-kennis, -ontwikkeling, -infrastructuur, -capaciteiten, -vaardigheden en -gebruik is er niet.

Ten gevolge van de toepassing van ICT veranderen de structuur en het functioneren van de economie op velerlei manieren. Nieuwe typen bedrijven en nieuwe beroepen ontstaan. Het onderscheid tussen industriële bedrijven en dienstenbedrijven vervaagt. Kleinere bedrijven, onafhankelijke *business units* en netwerken van ZZP'ers worden dominant in productie en werkgelegenheid. Het beleveren van internationale markten wordt makkelijker. Daarmee neemt ook de concurrentie van buitenlandse bedrijven op Nederlandse markten toe. Er ontwikkelen zich steeds meer markten voor ICT-gerelateerde producten en diensten die een *winner-takes-all* karakter hebben. Dat kan leiden tot een ongewenste concentratie van economische macht. Brede toepassing van ICT, daarbij inbegrepen robotisering, verandert de samenstelling van de werkgelegenheid. Cognitieve arbeid met een routinematig karakter verdwijnt doordat computers dit werk overnemen. Vooral beroepsgroepen in het midden van het inkomenspectrum

merken de effecten. Mogelijk daalt de totale omvang van de werkgelegenheid en stijgt de inkomensongelijkheid. Dit kan tijdelijk zijn, maar ook een structureel karakter hebben. Toepassing van ICT in onderzoek en innovatie leidt niet alleen tot een versnelling van de onderzoeks- en innovatiedynamiek, maar ook tot meer datagedreven onderzoek en innovatie, in meer of minder open en grensoverschrijdende netwerken.

Nederland moet op tijd maatregelen treffen om de genoemde ontwikkelingen te kunnen accommoderen. Belangrijk zijn maatregelen op het gebied van onderwijs en opleiding die beogen burgers toe te rusten met vaardigheden die complementair zijn aan ICT. Belangrijk zijn ook maatregelen die bedrijven en onderzoeksinstituten helpen om in te spelen op de kansen die nieuwe ICT-gedreven technologische ontwikkelingen bieden. De technologische ontwikkelingen gaan snel en onze economische toekomst is onzeker. Maar welke wending de toekomst ook neemt, wil deze voor de Nederlandse economie goed uitpakken, dan moet in elk geval de ICT op orde zijn.

Deze conclusies leiden tot de volgende aanbevelingen aan de bewindslieden van Economische Zaken en van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, die hier kort worden weergegeven en in het advies nader zijn uitgewerkt:

Aanbeveling 1:

Plaats de ontwikkeling van de Nederlandse ICT-capaciteit vanuit een integrale visie veel meer in het hart van het beleid

- a) Ontwikkel een integrale visie op ICT.
- b) Verbeter de samenhang tussen ICT-beleid enerzijds en onderzoeksbeleid, innovatiebeleid en onderwijsbeleid anderzijds.
- c) Zorg ervoor dat de publieke verantwoordelijkheid voor ICT in relatie tot onderzoek, innovatie en onderwijs met prioriteit wordt opgepakt en binnen de rijksoverheid optimaal wordt gecoördineerd.

Aanbeveling 2:

Geef meer prioriteit aan de ontwikkeling en exploitatie van ICT binnen het innovatiebeleid

- a) Zorg dat de topsectoren gezamenlijk de ontwikkeling en exploitatie van ICT oppakken. Bevorder dat ze daarvoor een actieplan ontwikkelen en middelen bijeenbrengen.
- b) Besteed daarnaast binnen het innovatiebeleid structureel aandacht aan behoeften die te weinig door het topsectorenbeleid worden afgedekt, met name die van dienstenproducenten, kleine innovatieve bedrijven en starters, en snijdt het beleidsinstrumentarium meer op deze behoeften toe.

Aanbeveling 3:

Faciliteer en ondersteun de verdere ontwikkeling van datagedreven onderzoek

- a) Zorg dat de Nederlandse kennisinstellingen kunnen blijven beschikken over een ICT-infrastructuur van topkwaliteit en verschaf SURF de daartoe vereiste middelen.
- b) Anticipeer op een toename in de behoefte aan ICT-investeringen het kader van de financiering van de Nationale Wetenschapsagenda.
- c) Verbeter de randvoorwaarden voor transdisciplinair onderzoek en ontwikkeling.

Aanbeveling 4:

Richt het onderwijs in op de eisen die een economie stelt waarin ICT een dominante technologie is

- a) Stimuleer een stevig accent op ICT-kennis en -vaardigheden in de curricula van het hoger onderwijs.
- b) Neem ICT-kennis en -vaardigheden ook op in de eindtermen van het basis- en voortgezet onderwijs.
- c) Versterk het accent op ondernemersvaardigheden in het onderwijs.
- d) Schep de institutionele randvoorwaarden die het combineren of afwisselen van werken en leren gedurende het werkzame leven (leven-lang-leren) gemakkelijker maken.



Deel 1: Advies

Inleiding en adviesvraag

Tegenwoordig gaan technologische ontwikkelingen indrukwekkend snel. Een iPhone 5 van nog geen 350 euro heeft net zo veel rekenkracht als de snelste supercomputer in 1975 had, die destijds 5 miljoen dollar kostte. Het *Human Genome Project*, dat dertien jaar duurde en in 2003 werd voltooid, kostte 2,7 miljard dollar. Naar verwachting duurt het *sequencen* van iemands genoom tegen het jaar 2020 niet meer dan een uur en kost het minder dan 100 euro. De kosten per kilowattuur van zonne-energie gewonnen met fotovoltaïsche cellen zijn in het eerste decennium van deze eeuw elke drie jaar gehalveerd.¹

Technologische ontwikkeling heeft een bepalende invloed op economische dynamiek. Wanneer nieuwe technologische mogelijkheden met grote snelheid op ons afkomen, zoals dat op dit moment het geval is, roept dat onmiddellijk de vraag op naar de economische consequenties.² In de Nederlandse politiek zijn de effecten van toenemende robotisering bijvoorbeeld onderwerp van debat.³ De enorme snelheid waarmee deze nieuwe technologie zich ontwikkelt, wakkert de vrees aan dat dit ten koste van de werkgelegenheid zal gaan.⁴ Maar technologische veranderingen hebben niet alleen gevolgen voor de werkgelegenheid. Nieuwe producten en diensten komen ter beschikking, nieuwe markten en nieuwe manieren van werken ontstaan, nieuwe productiemethoden verhogen de productiviteit van kapitaal en arbeid, internationale economische verhoudingen verschuiven. In antwoord op technologische ontwikkelingen verandert de manier waarop wij ons werkzame leven organiseren en invulling geven aan ons bestaan.

De gevolgen van snelle technologische veranderingen voor de structuur en het functioneren van onze economie zijn zonder meer verstrekkend. De snelheid waarmee de capaciteit van de technologie toeneemt, is exponentieel. Dat maakt vooruitkijken en de consequenties overzien zo moeilijk. Maar de vaart waarmee deze veranderingen hun

¹ Voorbeelden ontleend aan McKinsey Global Institute (2013) *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*.

² Ook de Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur (2015) constateert in zijn 'Verkenning technologische innovaties in de leefomgeving' dat technologische ontwikkelingen steeds sneller gaan, onder andere ten gevolge van de wereldwijde toename van het aantal mensen dat zich richt op innovatie en het intensiveren van de interactie tussen die mensen. Daarbij blijkt het combineren van (convergerende) technologieën steeds meer mogelijkheden voor innovaties te bieden.

³ De discussie over deze thematiek is in Nederland aangewakkerd door minister Asscher, die tijdens het jaarlijkse SZW-congres op 29 september 2014 een rede hield onder de titel 'Robotisering: kansen voor morgen'. Het thema is verder uitgewerkt in een brief van de ministers Asscher, Kamp en Bussemaker aan de Tweede Kamer van 19 december 2014, betreffende het effect van technologische ontwikkelingen op de arbeidsmarkt (Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 2014). Maar zie hierover ook bijvoorbeeld de vorig jaar verschenen essaybundel van Nesta (2014) *Our work here is done – Visions of a robot economy*.

⁴ Het Rathenau Instituut (2015) heeft in zijn rapport 'Werken aan de robotsamenleving' de wetenschappelijke inzichten omtrent de relatie tussen de huidige technologische ontwikkelingen en de werkgelegenheid bijeengebracht. Het Centraal Planbureau en het Sociaal en Cultureel Planbureau (2015) beschrijven in hun rapport 'De onderkant van de arbeidsmarkt in 2015' de gevolgen van technologische ontwikkeling voor middelbaar en laagopgeleiden.

beslag krijgen, is niet alleen afhankelijk van de snelheid waarmee nieuwe technologieën ter beschikking komen. Ze hangt ook af van het tempo waarmee deze nieuwe technologieën in economische en maatschappelijke structuren kunnen worden ingebed. Marx en Schumpeter wisten al dat technologische mogelijkheden in hoge mate sociale verhoudingen, economische processen en vormen van organisatie bepalen. Maar ook zij zagen in hun tijd al dat de aanpassing van economische processen en sociale structuren aan nieuwe technologische mogelijkheden tijd vergt, en vaak veel tijd. Het benutten van nieuwe technologie is niet alleen een kwestie van investeren in productiemiddelen, maar doorgaans ook van het investeren in nieuwe kennis en vaardigheden, het aanpassen van infrastructuur en complementaire technologie, het doorontwikkelen van organisaties, procedures en regels, het accepteren van nieuwe arbeidsroutines en arbeidsverhoudingen, het ontwikkelen van nieuwe verdienmodellen, het aanvaarden van nieuwe risico's, en dergelijke. Het feitelijke tempo van technologische verandering in een economie wordt vooral bepaald door economische en sociale processen.

Daarbij bepaalt de sociale inbedding van nieuwe technologieën niet alleen hoeveel ze bijdragen aan de concurrentiekracht en de verhoging van de productiviteit, maar ook bij wie de baten daarvan terechtkomen. Het is de combinatie van nieuwe technologie met nieuwe vormen van arbeidsorganisatie, die leidt tot productiviteitsstijging en verbetering van het concurrentievermogen. En het is de organisatie van het economisch proces die bepaalt hoe de verdiensten verdeeld worden. Deze sociale processen worden op hun beurt ook beïnvloed door de overheid.

1.1 Adviesvraag

De huidige snelle technologische ontwikkelingen werpen vragen op voor beleid. Deze spitsen zich toe op de vraag wat Nederland moet doen om optimaal gebruik te maken van de mogelijkheden die nieuwe technologieën bieden.⁵ Dit advies gaat over de volgende vraag:

Wat is de impact van de huidige technologische ontwikkeling op de structuur en het functioneren van de Nederlandse economie, en welk beleid zou de Nederlandse overheid in dat licht moeten voeren?

Dit advies schetst een beeld van de manier waarop de huidige technologische ontwikkelingen de economie beïnvloeden. We geven aan wat de Nederlandse overheid moet doen om de kansen die deze ontwikkelingen bieden zo goed mogelijk te benutten.

⁵ Zie bijlage 1 voor de adviesvraag zoals geformuleerd in het werkprogramma voor 2014 van de AWTI.

1.2 Focus

We concentreren ons in dit advies op de technologische ontwikkelingen die de grootste impact hebben op de economie. De focus ligt op de processen die de aard en omvang van de economische effecten van technologische ontwikkeling bepalen.⁶ Er zijn reeksen van nieuwe technologieën in ontwikkeling die ons in staat stellen allerlei dingen radicaal anders te doen of te maken dan in het verleden. Daarover zijn inmiddels vele gezaghebbende studies verschenen.⁷ Maar als we de vraag stellen van welke nieuwe technologieën we de grootste economische impact kunnen verwachten, zien we dat de ontwikkelingen in informatie- en communicatietechnologie (ICT) tegenwoordig een dominante en vaak doorslaggevende rol spelen.

Technologische ontwikkeling gaat in golven van *exploratie*, het ontdekken en verkennen van nieuwe technologieën, gevolgd door *exploitatie*, het ontwikkelen van nieuwe en steeds betere toepassingen daarvan.⁸ Wij bevinden ons momenteel in een periode van versnellende en verbredende exploitatie van technologie die gebaseerd is op of gebruikmaakt van geavanceerde ICT.⁹ Er komen steeds meer ICT-toepassingen ter beschikking die voortbouwen op de steeds algemenere beschikbaarheid van snel internet en van *big data*. Apparaten en andere artefacten genereren een aanwassende stroom gegevens die via internet hun weg vinden: het *internet of things*. Ook komen steeds meer combinaties van ICT met andere technologieën tot ontwikkeling (convergerende technologieën). De combinatie van ICT met mechanica levert ons bijvoorbeeld robots, zelfrijdende auto's en driedimensionale printtechnieken en de combinatie met fotonica is te vinden in camera's, kijkers en medische apparatuur. ICT in combinatie met energietechnologie resulteert in *smart grids*. De combinatie met nanotechnologie leidt onder meer tot nanosensoren, die bijvoorbeeld in de medische wereld gebruikt worden om bloedwaarden te bepalen en in de voedselindustrie om tegen schimmels en bederf te waarschuwen. De basis voor dit alles is gelegd in de afgelopen halve eeuw, waarin de technologie is ontwikkeld om computers steeds krachtiger te maken en communicatie steeds sneller – een

⁶ Onze benadering is daarmee complementair aan die van de Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur (2015) in de Verkenning technologische innovaties in de leefomgeving, waarin de aandacht veeleer op de technologieën ligt dan op de economische mechanismen en effecten.

⁷ Zie naast de genoemde rapporten Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur (2015) en McKinsey (2013) bijvoorbeeld het rapport van de 3 TU's et al. (2015) Agenda voor Nederland – Inspired by technology, het rapport van de European Parliamentary Research Service (2015) Ten technologies which could change our lives: Potential impacts and policy implications, de nota van de Europese Commissie (2009) Voorbereiden van onze toekomst: ontwikkeling van een gemeenschappelijke strategie voor sleuteltechnologieën in de EU, en de beleidsnota's van de diverse overheden die allerhande veelbelovende technologieën noemen, zoals Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014) The new High-Tech Strategy, Commission sous la présidence d'Anne Lauvergeon (2013) Un principe et sept ambitions pour l'innovation, Policy Exchange (2013) Eight Great Technologies, VRWI (2014) Vlaanderen in transitie, prioriteiten voor wetenschap, technologie en innovatie voor 2025.

⁸ Zie bijvoorbeeld WRR (2008) Innovatie vernieuwd – Opening in viervoud.

⁹ Zie bijvoorbeeld Perez (2009) Technological revolutions and techno-economic paradigms. Volgens Perez bevinden we ons in de tweede helft van de Kondratieffgolf die gekenmerkt wordt door de exploratie en exploitatie van ICT als technologisch paradigma.

ontwikkeling die nog steeds doorgaat. De exploitatie van ICT is al een paar decennia bezig, maar is de laatste tijd in een stroomversnelling terecht gekomen.

Dat de komende jaren verreweg de grootste impact op de economie van ICT-gerelateerde technologie te verwachten valt, wordt geïllustreerd door de lijst van twaalf *disruptive technologies* die volgens McKinsey (2013) *life, business and the global economy* de komende jaren zullen transformeren.¹⁰ Op deze lijst staan, op volgorde van de omvang van de geschatte mondiale economische impact: i) mobiel internet, ii) de automatisering van kenniswerk, iii) het *internet of things*, iv) *cloud computing*, v) geavanceerde robottechnologie, vi) autonome en semiautonome voertuigen, vii) de volgende generatie *genomics*, viii) nieuwe technologie voor energieopslag, ix) driedimensionale printtechniek, x) geavanceerde materialen, xi) geavanceerde technieken om olie en gas te winnen, en xii) hernieuwbare energie. Opvallend is dat de eerste zes daarvan, met samen verreweg de grootste verwachte economische impact, allemaal rechtstreeks op ICT zijn gebaseerd. Maar ook de ontwikkeling van de overige zes is ondenkbaar zonder ICT. De centrale rol van ICT die uit de McKinseystudie naar voren komt, wordt bevestigd door andere rapporten.¹¹ Ook in de gesprekken die we gevoerd hebben ter voorbereiding van dit advies, kwam keer op keer het beeld naar voren dat ICT aan de basis ligt van de technologische ontwikkelingen die onze economie momenteel het sterkst beïnvloeden.

Omdat ICT zo'n dominante factor is in de technologische ontwikkeling die relevant is voor de structuur en het functioneren van de Nederlandse economie, spitst dit advies zich toe op deze technologie. Wij karakteriseren hoe ICT doorwerkt in de economie en baseren daarop onze aanbevelingen omtrent hoe de overheid daar het best mee kan omgaan. Daarmee gaat dit rapport over een bepaald aspect van ICT. Het gaat niet over zaken rond *safety*, *security* en *privacy* in het digitale informatieverkeer of de *governance* van het internet.¹²

1.3 Leeswijzer

Het eerste deel van dit advies geeft kort onze voornaamste bevindingen weer. Deze worden gevolgd door onze aanbevelingen voor beleid. In het tweede deel beschrijven we hoe we tot onze bevindingen en aanbevelingen zijn gekomen. Daarin staat achtereenvolgens

¹⁰ Zie McKinsey Global Institute (2013) *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*.

¹¹ Zie bijvoorbeeld Accenture (2013) *Accenture Technology Vision 2014 – Every business is a digital business*, of European Parliamentary Research Service (2015) *Ten technologies which could change our lives – Potential impacts and policy applications*. Dat laatste rapport identificeert tien perspectievolle technologieën, maar maakt geen inschatting van de omvang van de potentiële economische impact. De meeste daarvan zijn toepassingen van ICT (autonome voertuigen, 3d-printing, *MOOCs*, virtueel geld, technologie in kleding, *drones*, slimme domotica), en andere zijn eraan gerelateerd of maken er gebruik van (toepassingen van grafen, gesloten systemen voor voedselproductie, opslagsystemen voor elektriciteit).

¹² Zie daarover bijvoorbeeld WRR (2015) *De publieke kern van het internet*, AIV (2014) *Het internet: een wereldwijde vrije ruimte met begrensde staatsmacht*, en AIV (2012) *Digitale oorlogvoering*.

waarom dit advies vooral over ICT gaat, hoe ICT langs verschillende kanalen doorwerkt in de economie, en hoe ICT processen van onderzoek en innovatie verandert.

Dit advies is voorbereid door een projectgroep bestaande uit Emmo Meijer (voorzitter), Dave Blank, Thecla Bodewes, Valerie Frissen, Arno Peels, Paul Diederer (penvoerder), Marcel Kleijn en Roel Niessen. Voor dit advies zijn gesprekken gevoerd met ruim vijftig deskundigen en betrokkenen (zie bijlage 2).

Bevindingen

Informatie- en communicatietechnologie (ICT) is de dominante technologie van deze tijd. ICT is een 'disruptieve' technologie, die leidt tot grote economische dynamiek. Het is niet alleen een technologie die zelf ontelbaar veel toepassingen kent, maar ook de *key enabler* voor vrijwel alle andere *key enabling technologies*. ICT heeft een grote instrumentele rol in de verdere ontwikkeling van de meeste andere technologieën die voor onze economie van belang zijn.¹³ Het is het fundament onder de huidige technologische ontwikkeling.

Tot het ICT-domein rekenen we digitale hardware, software, verbindingen en (*big*) data. ICT valt in de categorie van *general purpose technologies*, technologieën met een enorm breed scala aan toepassingsmogelijkheden, vergelijkbaar met elektrotechniek en kunststofchemie in vroeger tijden. 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.¹⁴ Een ICT-toepassing die economie en samenleving sinds twee decennia ingrijpend heeft veranderd, is het internet. ICT-toepassingen waarvan grote gevolgen in de toekomst worden verwacht, zijn gebaseerd op *big data* (de beschikbaarheid en snelle toegankelijkheid van gigantische hoeveelheden gegevens uit heel veel bronnen), gecombineerd met *data analytics* en *machine learning*.¹⁵

ICT-gedreven technologische ontwikkeling transformeert de structuur en het functioneren van de economie. Een belangrijke vraag is hoe dit in zijn werk gaat, en meer in het bijzonder of deze *general purpose technology* de economie op een andere manier transformeert dan de technologische ontwikkeling die we uit eerdere perioden kennen. De analyse in deel 2 spitst zich toe op deze vraag. Hier volstaat te constateren dat ICT de economie langs twee kanalen beïnvloedt, direct en indirect. Direct heeft ICT een impact op de economie omdat het processen van productie en allocatie verandert.¹⁶ Indirect oefent ICT invloed uit omdat het een impact heeft op onderzoek en innovatie, en daarmee op de belangrijkste motor achter de economische dynamiek. Het directe en het indirecte kanaal worden in de volgende twee paragrafen kort en in deel 2 meer in detail uitgewerkt.

¹³ Biotechnologie, nanotechnologie, cognitieve wetenschappen, nieuwe materialen, chemie, farmacie: voortgang in vrijwel alle disciplines is afhankelijk van dataverwerking, rekenkracht en simulatietechnieken.

¹⁴ Zie bijvoorbeeld Dialogic (2014) De impact van ICT op de Nederlandse economie.

¹⁵ Zie Cukier en Mayer-Schoenberger (2013) The rise of big data – How it's changing the way we think about the world, en Osseyran en Vermeend (2014) De revolutie van Big data – Een verkenning van de ingrijpende gevolgen.

¹⁶ Met de term allocatie bedoelen we verdeling in de brede zin van het woord: verdeling van goederen en diensten, van arbeid en tijd, van inkomen en macht; verdeling via de markt, via bureaucratische, democratische of andere mechanismen.

2.1 De impact van ICT op productie en allocatie

In het kort: het gebruik van ICT in productie en allocatie heeft minimaal de volgende zes consequenties

1. Automatisering van cognitieve routinearbeid en robotisering: het onder druk komen van de middeninkomens en daarmee de middenklasse; veranderingen van de inkomensdistributie; mogelijk ontstaan van ‘technologische werkloosheid’.
2. Reductie van transactiekosten: opsplitsen van productie in taken die over bedrijven wereldwijd gedistribueerd worden; wereldomspannende (niche)-markten; toename van de kapitaalmobiliteit.
3. Besparing van kapitaal: toename van de kapitaalproductiviteit en daarmee van het rendement op kapitaal.
4. Reductie van de minimum efficiënte schaal van productie: ontstaan van meer nichemarkten; mogelijkheden voor kleine bedrijven en ZZP’ers.
5. Relatief lage kosten van productie en distributie ten opzichte van kosten van ontwikkeling: tendens tot het ontstaan van *winner-takes-all* markten.
6. Het ontstaan van een gelaagde structuur van platforms: toepassingen van ICT bouwen voort op elkaar (*apps* bouwen bijvoorbeeld voort op de protocollen van onderliggende infrastructuur); sommige platforms – waaronder het internet – hebben het karakter van een publieke infrastructuur waarin overwegend door private partijen wordt voorzien.¹⁷

Door ICT gedreven technologische ontwikkeling heeft een groot aantal veranderingen in de structuur en het functioneren van de economie in gang gezet. Op basis van ICT zijn tal van nieuwe producten en diensten ontwikkeld die op informatie zijn gebaseerd. Vaak komen die productinnovaties van nieuwe spelers uit andere sectoren. Fabrikanten van camera’s worden beconcurrereerd door producenten van mobiele telefoons, kranten en televisiestations door digitale media. Autoproducenten worden uitgedaagd door een nieuwkomer als Tesla en reisorganisaties door booking.com. ICT heeft veel dynamiek veroorzaakt in de media-industrie en de uitgeverijen, de muziek- en filmbranche, en de spel- en vermaakindustrie, maar ook in de telecommunicatiesector, de financiële dienstverlening en in adviesdiensten op allerlei terrein. Typerend voor informatieproducten in het digitale tijdperk is dat de kosten ervan gemoeid zijn met het ontwikkelen, maar niet met het reproduceren: vermenigvuldigen is bijna gratis. Dat noopt tot nieuwe verdien-

¹⁷ Zie WRR (2015) De publieke kern van het internet – Naar een buitenlands internetbeleid. Op het platform van het internet functioneren diverse andere platforms, zoals de iStore van Apple en de Play Store van Google.

modellen in allerlei bedrijfstakken als de muziekindustrie, de media-industrie en de uitgeversbranche.¹⁸

Maar naast productinnovatie leidt ICT tot procesinnovatie. Vooral arbeidsbesparende procesinnovatie springt daarbij in het oog. ICT-systemen zijn steeds beter in staat om taken met een routinematig en procedureel karakter, die tot voor kort nog niet geautomatiseerd konden worden, over te nemen.¹⁹ Dit heeft aanleiding gegeven tot de huidige discussies over de gevolgen van robotisering. De arbeidsmarkt verandert en de sectorstructuur van onze economie verschuift, oude banen verdwijnen en nieuw werk ontstaat.²⁰ Of het ontstaan van nieuwe banen de snelheid waarmee oude arbeidsplaatsen verdwijnen kan bijhouden, is a priori niet te zeggen.

ICT-gedreven technologische ontwikkeling heeft productieprocessen enorm veranderd. Dat beperkt zich niet tot de vraag naar arbeid. De minimum efficiënte schaal van productie is sterk gedaald. De mogelijkheden om allerhande diensten af te stemmen op individuele behoeften en daarmee nichemarkten te exploiteren, zijn steeds verder toegenomen.²¹ Die markten hebben wel steeds vaker een *winner-takes-all* karakter, omdat diensten zodra ze eenmaal zijn ontwikkeld, tegen relatief lage kosten kunnen worden vermenigvuldigd en via het internet gedistribueerd.

ICT heeft de kosten die gemoed zijn met het laten functioneren van markten, de transactiekosten, sterk verlaagd. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om de kosten van het inwinnen en distribueren van informatie, het leggen van contacten en het sluiten van contracten, het handeldrijven. Lagere transactiekosten doen nieuwe verdienmodellen ontstaan, vaak gebaseerd op betalen voor gebruik (een dienst) in plaats van eigendom (een product).²²

Een lagere minimum efficiënte schaal en lagere transactiekosten maken dat kleinere bedrijven zich steeds makkelijker in de markt kunnen handhaven. Bovendien is het tegenwoordig veel eenvoudiger en goedkoper om een bedrijf te starten dan vroeger en

¹⁸ Zo ook in de bedrijfstak van uitgevers van wetenschappelijke publicaties, waar een tendens richting *open access* is waar te nemen. Over dit thema verschijnt eind 2015 een AWTI-advies.

¹⁹ Hierbij gaat het om werk dat goeddeels bestaat uit het volgen van (soms ingewikkelde, maar niettemin vaste) procedures. Daartoe behoren bijvoorbeeld de werkzaamheden van verkopers en accountants, maar ook die van kredietbeoordelaars en claimbeoordelaars, van machinisten en scheidsrechters. Zie Levy en Murnane (2013) *Dancing with robots – Human skills for computerized work*, voor een nadere analyse van welk type activiteiten computers en robots wel en niet van mensen kunnen overnemen.

²⁰ Zie Frey en Osborne (2013) *The future of unemployment: how susceptible are jobs to computerisation?*, die schatten dat 47 procent van de werkgelegenheid in de Verenigde Staten het risico loopt te verdwijnen door computerisering (dat wil zeggen, automatisering door middel van computergestuurde apparatuur).

²¹ Dit is niet alleen wat Amazon doet, dat in staat is boeken te leveren waarvan slechts zeer kleine oplages gedrukt worden voor zeer specifieke lezersgroepen, maar ook wat bijvoorbeeld een reisbureau als Riksja Travel doet, dat reizigers de bouwstenen in handen geeft om een op de eigen wensen afgestemde reis samen te stellen.

²² Zie ook AWT (2012) *Diensten waarderen*.

is het voor kleinere bedrijven steeds makkelijker om zich in netwerken te organiseren en samen te werken. Dit leidt tot een verandering in de structuur van de economie, waarbij er naar verhouding veel meer van de output geleverd wordt door kleinere bedrijven. De impact van ICT beperkt zich niet tot industriële sectoren, maar loopt ook en misschien wel vooral via wat we de dienstensectoren plegen te noemen. Het onderscheid tussen industriële sectoren en dienstensectoren vervaagt echter steeds meer en de productieprocessen gaan steeds meer op elkaar lijken, en wel om twee redenen. Op de eerste plaats leveren industriële producenten steeds meer diensten bij hun producten, en zit de toegevoegde waarde voor een steeds groter deel in de diensten. Op de tweede plaats krijgt de productie van diensten steeds meer een industrieel karakter: gestandaardiseerd en kapitaalintensief.

De geografische omvang van veel markten neemt enorm toe omdat distributie via digitale kanalen gaat. Hier wreekt zich dat de Europese gemeenschappelijke markt voor diensten nog niet goed werkt. Zo ligt het aandeel grensoverschrijdende handel via webwinkels in Europa in 2013 nog maar rond de twaalf procent van de totale omzet. In Nederland liggen de aankopen bij buitenlandse webwinkels tussen de 25 en de 30 procent.²³ Het feit dat Europese bedrijven vanuit een veel kleinere geïntegreerde thuismarkt opereren dan Amerikaanse, plaatst ze op achterstand. Verdere marktintegratie op Europees niveau, zoals geprioriteerd door de nieuwe Europese Commissie, voorziet innovatieve bedrijven van een grote thuismarkt.²⁴ Dit is vooral in het belang van bedrijven die kennisintensieve (informatie)producten leveren, die relatief kostbaar zijn in de ontwikkeling en goedkoop in de uitrol over een geïntegreerde markt.

²³ Zie Ayden en Edgar, Dunn and Company (2014) Cross-Border Payments – Opportunities and Best Practices For Going Global.

²⁴ De digitale markt bestaat in Europa dezer dagen uit 42 procent online dienstenaanbieders uit eigen land, 54 procent dienstenaanbieders uit de Verenigde Staten, en niet meer dan 4 procent dienstenaanbieders uit een ander Europees land. De Europese Commissie schat dat een *digital single market* kan zorgen voor 415 miljard euro aan extra groei en honderdduizenden extra banen. Zie verder Juncker (2014) A New Start for Europe: My Agenda for Jobs, Growth, Fairness and Democratic Change – Political Guidelines for the next European Commission; zie European Commission (2015) A digital single market strategy for Europe, voor een gedetailleerde strategie om Europa dichterbij een *digital single market* te brengen.

2.2 De impact van ICT op onderzoek en innovatie

In het kort: het gebruik van ICT in onderzoek en innovatie leidt tot de volgende effecten:

1. Versnelling van allerhande processen in onderzoek en innovatie: snellere verwerking van veel grotere hoeveelheden data.
2. Verandering van het proces van kennisontwikkeling: i) van meer deductief naar meer inductief en datagedreven; ii) van meer analytisch (ontwikkeling van begrip vanuit het analyseren van deelsystemen, gevolgd door aggregatie), naar meer synthetisch en integraal (ontwikkeling van begrip door integrale systeemanalyse); iii) van overwegend monodisciplinair naar meer transdisciplinair; iv) van smalle naar brede vraagstukken.
3. Verandering van de organisatie van kennisontwikkeling: intensivering en schaalvergroting in samenwerking en netwerkvorming; meer *real time* samenwerking over geografische en disciplinaire grenzen heen.

Het wetenschappelijk onderzoek in de meeste vakgebieden zal in de toekomst steeds meer datagedreven zijn en meer gebaseerd op een methodologie van inductie, statistiek en patroonherkenning. Het tempo waarmee de kennisontwikkeling voortgaat, wordt daarmee niet alleen bepaald door de omvang van de beschikbare datastromen, maar ook door de beschikbaarheid van rekencapaciteit en de snelheid waarmee methoden en algoritmen worden ontwikkeld om in deze overvloed van data patronen te herkennen.

Het feit dat wetenschap meer inductief en datagedreven van karakter wordt, biedt kansen voor meer transdisciplinariteit, gebaseerd op het intelligent combineren van datastromen uit verschillende disciplines. Aan meer transdisciplinair onderzoek is een grote behoefte, ingegeven door de maatschappelijke en economische uitdagingen waar we voor staan. Hierop kunnen financiers van onderzoek als NWO en kennisinstellingen inspelen in hun organisatieontwikkeling en hun activiteiten. Zij kunnen een systeembenadering en een meer integraal perspectief in het onderzoek faciliteren door transdisciplinair onderzoek te stimuleren. Een inzet op brede onderzoeksthema's en op *grand societal challenges* als klimaatverandering, sociale veiligheid en voedselzekerheid helpt daarbij.

Kennisontwikkeling vindt voor een belangrijk deel plaats in internationale netwerken. Waar voorheen vooral de resultaten van wetenschappelijk werk internationaal gedeeld werden via tijdschriften en conferenties, wordt nu steeds meer het onderzoekwerk zelf samen gedaan. Onderzoekers in Nederland werken steeds vaker samen in virtuele *communities* aan gemeenschappelijke projecten met onderzoekers elders in de wereld. Deze integratie van het mondiale onderzoek via netwerken heeft overigens niet geleid tot

een gelijkmatige spreiding van het onderzoek over de wereld, zoals denkbaar zou zijn geweest met de huidige communicatietechnologieën. Integendeel, het heeft de tendens van het ontstaan van een beperkt aantal wetenschappelijke *hotspots* versterkt. De beste onderzoekers zoeken elkaar op en eromheen groepeeren zich de rest.

2.3 De beleidsuitdaging

Technologische ontwikkeling transformeert onze economie. Maar het huidige economische beleidsdiscours in Nederland gaat niet over technologiebeleid. Het gaat over topsectoren en het topsectorenbeleid. Permanente discussiethema's in dit discours zijn: de vraag of dit beleid uitdagers van de gevestigde orde voldoende ruimte biedt en stimuleert, of het bijdraagt aan de aanpak van maatschappelijke uitdagingen, en of het sectoroverschrijdend en transdisciplinair innoveren bevordert. Buiten beeld valt doorgaans het technologische fundament waarop het hele bouwwerk van de topsectoren zich bevindt en waarbinnen ICT het dominante element is. De consequentie is dat ICT als gegeven wordt verondersteld en wordt gekenschetst als een gezamenlijke verantwoordelijkheid. Voor iets waarvoor iedereen verantwoordelijk is, is niemand verantwoordelijk.

Computers, digitale apparaten en *embedded devices* zijn alomtegenwoordig in huizen, voertuigen, kantoren en bedrijven. De uitrol en exploitatie van ICT is voornamelijk door de private sector ter hand genomen. Ondernemingen hebben de samenleving voorzien van een hele infrastructuur van kabels, antennes en satellieten. De publieke sector heeft daarentegen een bedenkelijke reputatie opgebouwd waar het om de eigen ICT-projecten gaat.²⁵ Wat zou dan de verantwoordelijkheid van de overheid ten aanzien van ICT moeten zijn? Deze beperkt zich tot specifieke aspecten van ICT-gedreven ontwikkelingen. Wij onderscheiden zes publieke verantwoordelijkheden.

Publieke verantwoordelijkheden met betrekking tot ICT:

1. Het waarborgen van de veiligheid, betrouwbaarheid en privacy in het verkeer van gegevens door regulering van en toezicht op de ICT-sector.
2. Het vanuit publieke belangen reageren op veranderingen in werkgelegenheid, inkomensverdeling en economische structuur, inclusief economische machtsposities, ten gevolge van ICT-gedreven ontwikkelingen.
3. Het doeltreffend en doelmatig inzetten van publieke middelen in publieke ICT-projecten.

²⁵ Berucht zijn de ICT-problemen bij de belastingdienst, het ICT-drama bij uitkeringsinstantie UWV, de rammelende modernisering van de Gemeentelijke Basisadministratie, de mislukte invoering van een elektronisch patiëntendossier, de moeizame totstandkoming van ICT-basisvoorzieningen bij de politie en het nieuwe (ERP)-softwaresysteem bij het ministerie van Defensie. Zie Tweede Kamer (2014) Parlementair onderzoek naar ICT-projecten bij de overheid (rapport van de Commissie Elias).

4. Het bevorderen dat het bedrijfsleven optimaal gebruikmaakt van de mogelijkheden die ICT biedt ter versterking van het concurrentievermogen.
5. Het stimuleren dat de publieke kennisontwikkeling optimaal inspeelt op veranderingen in onderzoek en ontwikkeling ten gevolge van ICT.
6. Het bevorderen dat de beroepsbevolking de capaciteiten ontwikkelt die de arbeidsmarkt ten gevolge van ICT-gedreven ontwikkelingen in de toekomst vraagt.

In de eerste plaats heeft de overheid een rol te spelen omdat de ICT-infrastructuur – en dan met name het internet en ook steeds meer *big data* – het karakter heeft ontwikkeld van een publiek goed.²⁶ Het is een vitale infrastructuur met een publiek karakter, waarin vooral private partijen voorzien. De ICT-infrastructuur is vitaal omdat het functioneren van onze samenleving ervan afhankelijk is geworden. Het is een nutsvoorziening waarin bedrijven – en dan ook nog veelal buitenlandse bedrijven – voorzien. In die zin lijkt de ICT-sector op het bankwezen. Banken zijn private bedrijven die zorg dragen voor het betalingssysteem en het systeem van kredietverlening, eveneens een vitale infra-structurele voorziening. Ervaringen in het bankwezen maken duidelijk dat waar private partijen een publieke infrastructuur onder hun hoede hebben, er een essentiële verantwoordelijkheid op de schouders van de overheid rust. Voor de bancaire sector is een uitgebreid systeem van regulering en toezicht ontwikkeld om vitale publieke belangen te waarborgen.²⁷ De geschiedenis van de afgelopen jaren heeft de feilbaarheid van dit systeem aangetoond en de daaropvolgende discussies hebben laten zien dat optimale regulering en toezicht verre van eenvoudig zijn. Ook in de ICT-sector is dit het geval. De discussies over regulering en toezicht in deze sector zijn van recentere datum dan die in het bankwezen en spitsen zich momenteel toe op kwesties als *safety* en *security* op het internet. Het governancestelsel dat deze publieke belangen moet waarborgen, is zich nog aan het uitkristalliseren.

Vanzelfsprekend vergt dit een goeddoordachte strategie van de Nederlandse overheid. Actuele aandachtspunten zijn onder andere het waarborgen van de toegang tot het internet, de kwestie van netneutraliteit (dat wil zeggen, geen onderscheid in de snelheid waarmee internet *providers* de informatie van verschillende aanbieders doorgeven), de veiligheid van het internetverkeer, de betrouwbaarheid en stabiliteit van het internet, en de privacy. Tot de aandachtspunten die steeds nijpender zullen worden naarmate *big data* groeit en grote gegevensverzamelingen meer en meer een bron van economische

²⁶ Een publiek goed is een voorziening die gekenmerkt wordt door *non-excludability* (niemand kan van het gebruik worden uitgesloten) en *non-rivalry* (gebruikers concurreren niet met elkaar). Het internet komt daar dicht bij in de buurt. Het aantal databases met het karakter van een publiek goed groeit – zie bijvoorbeeld Algemene Rekenkamer (2015) Trendrapport open data 2015.

²⁷ Er zijn ook parallellen te trekken met de elektriciteitssector en de telecommunicatiesector (die steeds meer geïntegreerd is met de rest van de ICT-sector).

waardecreatie worden, behoren de eigendom van data en het monopoliseren van gegevensbronnen.²⁸ Het gaat hier om een ingewikkelde problematiek met een groot maatschappelijk belang, waaraan wij geen recht kunnen doen binnen de beperkte opzet van dit advies. Daarom gaan wij er hier niet verder op in.

In de tweede plaats heeft de overheid een rol waar het de concurrentieverhoudingen, de werkgelegenheid en de inkomensverdeling betreft.²⁹ Concurrentieverhoudingen veranderen waar ICT het ontstaan van dominante marktpartijen bevordert, bijvoorbeeld omdat markten een *winner-takes-all* karakter hebben. In bepaalde gevallen kan dit een antwoord vanuit het mededingingsbeleid vergen.³⁰ De werkgelegenheid verandert ten gevolge van ICT van aard en mogelijk van omvang. ICT-gedreven technologische ontwikkeling is voor zover nu valt te overzien *skill biased* (complementair aan vaardigheden die verworven worden door meer opleiding), arbeidsbesparend (vooral waar het gaat om cognitieve routinearbeid) en kapitaalbesparend.³¹ Deze combinatie van factoren maakt dat deze technologische ontwikkeling mogelijk kan leiden tot een versterking van de tweedeling op de arbeidsmarkt, een verdere vergroting van verschillen in inkomens en vermogens, en in het ongunstigste geval tot technologische werkloosheid. Indien deze scenario's zich voordoen, kan een antwoord vanuit het fiscaal beleid, het inkomensbeleid en het sociaal beleid in combinatie met het onderwijsbeleid op zijn plaats zijn. Vanwege de grote belangen die hier op het spel staan, is een tijdige en onbevooroordeelde bezinning hierop noodzakelijk.³²

In de derde plaats berust de verantwoordelijkheid bij de overheid om ten behoeve van de eigen ICT-projecten zo goed mogelijk te opereren. Het is van belang in de besteding van middelen een goede balans te vinden tussen efficiëntie op de korte termijn enerzijds en doelmatigheid op de lange termijn door het stimuleren van innovatie anderzijds. In eerdere adviezen heeft de AWTI gepleit voor innovatiegericht overheidsaankoopbeleid.³³

In de vierde plaats ligt bij de overheid een verantwoordelijkheid om het concurrentievermogen van het private bedrijfsleven te stimuleren. Daartoe dient onder meer het innovatiebeleid. ICT is een belangrijke motor achter innovatie. Het is van belang dat het innovatiebeleid zowel de verdere ontwikkeling als de exploitatie van ICT ondersteunt.

²⁸ Nu al berust de waarde van bedrijven als Google en Facebook voor een belangrijk deel op de waarde van de gegevens die ze via hun eigen website verzamelen. Zie Cukier en Mayer-Schoenberger (2013) *The rise of big data – How it's changing the way we think about the world*.

²⁹ Volledige werkgelegenheid en een rechtvaardige inkomensverdeling behoren al sinds meer dan vijf decennia tot de expliciete doelstellingen van het Nederlandse sociaaleconomische beleid. Sinds 1992 formuleert de SER de sociaaleconomische beleidsdoelstellingen als volgt: i) een evenwichtige economische groei, passend binnen het streven naar duurzame ontwikkeling; ii) een zo groot mogelijke arbeidsparticipatie; iii) een redelijke inkomensverdeling.

³⁰ Zo heeft de Europese Commissie bijvoorbeeld in het verleden Microsoft voor de rechter gedaagd en heeft momenteel een zaak tegen Google in voorbereiding.

³¹ Zie hierover tevens deel 2 van dit rapport.

³² Het kabinet heeft de WRR gevraagd een studie te verrichten naar 'De toekomst van werk'.

³³ Zie bijvoorbeeld AWT (2012) *Diensten waarderen*, en AWT (2013) *Waarde creëren uit maatschappelijke uitdagingen*.

Het Nederlandse topsectorenbeleid ondersteunt vooral gevestigde spelers, terwijl het vaak de uitdagers van de gevestigde orde zijn die sterk ICT-gebaseerd zijn. De topsectorenaanpak en het *Smart Industry* initiatief zijn bovendien sterk gefocust op (bestaande) industriële activiteiten en hebben weinig aandacht voor innovatie in dienstverlening.³⁴ Juist in dienstverlening vindt veel ICT-gedreven innovatie plaats. En tot slot maakt ICT het steeds makkelijker om een nieuw bedrijf te starten. Maar het is nog steeds lastig voor kleinere en startende bedrijven om bij het specifieke innovatiebeleid aan te haken.³⁵

In de vijfde plaats is de overheid verantwoordelijk voor de publieke kennisontwikkeling. Daartoe dient het onderzoeks- en wetenschapsbeleid. Dit beleid kan enerzijds het onderzoek helpen om optimaal van ICT gebruik te maken en anderzijds het onderzoek in ICT bevorderen. Het onderzoek wordt steeds ICT-intensiever. Vooral de aanzwellende stromen onderzoeksdata bieden onderzoekers kansen om nieuwe wegen in te slaan. Daarvoor moeten de reken- en communicatiefaciliteiten op orde zijn. Ook moeten organisatie en financiering van de wetenschap ruim baan geven aan datagedreven, transdisciplinair onderzoek.

In de zesde plaats draagt de overheid mede de verantwoordelijkheid voor de ontwikkeling van expertise en capaciteiten die nodig zijn om te voldoen aan de arbeidsvraag in een economie waarin de dynamiek voor een groot deel ICT-gedreven is. Hier ligt een rol voor het onderwijsbeleid. Een economie waarin ICT innovatie drijft en de structuur en het functioneren van de economie transformeert, stelt specifieke eisen aan kennis en vaardigheden. Daarbij gaat het om te beginnen om ICT-kennis en -vaardigheden. Wanneer economische activiteiten, innovatie en onderzoek intensief van ICT gebruikmaken, moeten genoeg digitale vaardigheden en ICT-expertise voorhanden zijn. Maar het gaat daarbij bovendien om de kennis en vaardigheden voor een economie met naar verhouding veel meer werkgelegenheid in kleine bedrijven, veel plattere organisaties en veel meer zelfstandigen die in netwerken hun brood verdienen. Een dergelijke economie heeft behoefte aan veel meer ondernemerschapsvaardigheden. In deze economie drijft ICT de snelheid van veranderingsprocessen op. Dit vraagt om arbeidskrachten die deze veranderingssnelheid bij kunnen houden en hun eigen kennis en vaardigheden op niveau houden. Onder die omstandigheden gaat een schoolopleiding niet meer een hele carrière mee en moet er gaandeweg veel meer bijgeleerd en omgeschoold worden.

³⁴ Zie onder meer AWT (2012) Diensten waarderen, en AWT (2014) Blijvende bedrijven.

³⁵ Het generieke innovatiebeleid bedient voornamelijk het mkb. Maar het is via het specifieke bedrijvenbeleid, het topsectorenbeleid, dat netwerkvorming gefaciliteerd wordt en een band wordt gesmeed tussen de publieke kennisontwikkeling en de behoeften in het bedrijfsleven.

Het eerste en het tweede thema, die betrekking hebben op regulering van en toezicht op de ICT-sector en op het sociaaleconomisch beleid, vallen buiten het adviesdomein van de AWTI. Wij vestigen graag de aandacht op het belang van deze thema's en roepen op tot een open debat hierover, maar onthouden ons van specifieke aanbevelingen daaromtrent. Het derde thema, innovatiegericht aankoopbeleid in het geval van ICT, is een specifiek thema dat een aparte beschouwing vergt. Hier wijden we daarover niet uit. Het vierde, vijfde en zesde thema vallen wel binnen het adviesdomein van de AWTI. Aan onze observaties rond deze thema's zullen we in de volgende paragraaf aanbevelingen verbinden.

Maar voor we dat doen, staan we nog even stil bij de manier waarop de verantwoordelijkheid voor ICT binnen de overheid is belegd. De publieke verantwoordelijkheid voor ICT is niet alleen divers, zoals de zes punten hierboven illustreren, maar is ook enorm versnipperd over diverse beleidsdirecties en departementsonderdelen, publieke instanties en organisaties. ICT is alomtegenwoordig en vanzelfsprekend – daarom is het ongrijpbaar. ICT is van iedereen – en daarom is het van niemand. De verantwoordelijkheid voor de verdere ontwikkeling en de exploitatie van ICT ligt bij alle topsectoren en alle kennisinstellingen. Daarin schuilt een risico. Binnen het topsectorenbeleid is ICT niet goed belegd. Een groot deel van de activiteiten binnen de topsector HTSM is ICT-gerelateerd. De focus ligt daarbij veelal op hardware, maar niet uitsluitend. De aansluiting tussen HTSM en de andere topsectoren – en de niet-topsectoren – is onvoldoende om toepassing van ICT breed te stimuleren. Het initiatief om een ICT-topteam in het leven te roepen, is een eerste stap om een bredere coördinatie van innovatie op ICT-gebied beter vorm te geven, maar is nog onvoldoende om de publieke verantwoordelijkheid voor ICT adequaat te beleggen. Het topteam ontbeert vooralsnog de positie, het gezag en de instrumenten die nodig zijn om de verdere ontwikkeling en exploitatie van ICT hoger op de politieke agenda te krijgen en in de praktijk verder te brengen.

2.4 Conclusies

Uit onze bevindingen, hierboven samengevat en in deel 2 in meer detail gepresenteerd, trekken wij de volgende conclusies:

1. ICT is een *general purpose technology*, die in bijna alle activiteiten van economische productie en interactie een plek heeft. Het is daarnaast een technologie die onderzoek en innovatie verandert en daarmee een grote impact heeft op economische veranderingsprocessen.
2. ICT is de *key enabler* voor bijna alle andere *key enabling technologies*. Allerhande nieuwe technologieën hebben impact op de structuur en het functioneren van onze economie. Maar waar deze impact daadwerkelijk substantieel is, is dit tegenwoordig vrijwel altijd terug te voeren tot de ontwikkeling en exploitatie van ICT.

3. Het grote belang van ICT voor onze economische ontwikkeling staat nog altijd te weinig bij beleidsmakers op het netvlies. De betekenis van ICT wordt onderschat. De snelheid waarmee ICT zich ontwikkelt wordt onderschat. De exponentiële toename van rekenkracht, databeschikbaarheid en datatransmissiesnelheid heeft een impact op onze economie die het voorstellingsvermogen tart. Een omvattende visie op ICT-beleid voor onderzoek, innovatie, productie en allocatie ontbreekt. Een samenhangende benadering van vraagstukken rond ICT-kennis, -ontwikkeling, -infrastructuur, -capaciteiten, -vaardigheden en -gebruik is er niet.
4. Ten gevolge van de toepassing van ICT veranderen de structuur en het functioneren van de economie. Nieuwe typen bedrijven en nieuwe beroepen ontstaan. Het onderscheid tussen industriële bedrijven en dienstenbedrijven vervaagt. Kleinere bedrijven, onafhankelijke *business units* en netwerken van ZZP'ers worden dominanter in productie en werkgelegenheid. Het beleven van internationale markten wordt makkelijker. Daarmee neemt ook de concurrentie van buitenlandse bedrijven op Nederlandse markten toe. Er ontwikkelen zich steeds meer markten voor ICT-gerelateerde producten en diensten die een *winner-takes-all* karakter hebben. Dat kan leiden tot een ongewenste concentratie van economische macht.
5. Brede toepassing van ICT, daarbij inbegrepen robotisering, verandert de samenstelling van de werkgelegenheid. Cognitieve arbeid met een routinematig karakter verdwijnt doordat computers dit werk overnemen. Vooral beroepsgroepen in het midden van het inkomenspectrum merken de effecten. Mogelijk daalt de totale omvang van de werkgelegenheid en stijgt de inkomensongelijkheid. Dit kan tijdelijk zijn, maar ook structureel karakter hebben.
6. Toepassing van ICT in onderzoek en innovatie leidt niet alleen tot een versnelling van de onderzoeks- en innovatiedynamiek, maar ook tot meer datagedreven onderzoek en innovatie, in meer of minder open en grensoverschrijdende netwerken.
7. Nederland moet op tijd maatregelen treffen om de genoemde ontwikkelingen te kunnen accommoderen. Belangrijk zijn maatregelen op het gebied van onderwijs en opleiding die beogen burgers toe te rusten met vaardigheden die complementair zijn aan ICT. Belangrijk zijn ook maatregelen die bedrijven en onderzoeksinstituten helpen om in te spelen op de kansen die nieuwe ICT-gedreven technologische ontwikkelingen bieden.

De technologische ontwikkelingen gaan snel en onze economische toekomst is onzeker. Maar welke wending de toekomst ook neemt, wil deze voor de Nederlandse economie goed uitpakken, dan moet in elk geval de ICT op orde zijn.

Aanbevelingen

Onze analyse – hierboven kort weergegeven en in deel 2 verder ontwikkeld – biedt een brede *tour d'horizon* langs argumenten die laten zien dat ICT alomtegenwoordig is en dat de invloed van ICT op de structuur en het functioneren van de economie zeer verstrekkend is. Gaandeweg zijn allerlei zaken de revue gepasseerd die beter geregeld moeten zijn, wil Nederland ten volle profiteren van de voordelen die ICT kan bieden en van de wetenschappelijke en andere vruchten die op basis van ICT tot stand kunnen komen.

Op basis van deze analyse doet de AWTI de bewindslieden van Economische Zaken en Onderwijs, Cultuur en Wetenschap een viertal aanbevelingen. De eerste betreft het vormgeven van de verantwoordelijkheid voor ICT in relatie tot innovatie, onderzoek en onderwijs. De daaropvolgende gaan over ICT in het innovatiebeleid, het onderzoeksbeleid en het onderwijsbeleid.

3.1 Betreffende de publieke verantwoordelijkheid

Het is zaak dat de overheid de publieke verantwoordelijkheid voor ICT in Nederland beter organiseert. Beter betekent hier meer binnen het gezichtsveld van het kabinet, hoger op de beleidsagenda, met meer samenhang, en minder versnipperd.

Aanbeveling 1:

Plaats de ontwikkeling van de Nederlandse ICT-capaciteit vanuit een integrale visie veel meer in het hart van het beleid

- a) Ontwikkel een integrale visie op ICT.
- b) Verbeter de samenhang tussen ICT-beleid enerzijds en onderzoeksbeleid, innovatiebeleid en onderwijsbeleid anderzijds.
- c) Zorg ervoor dat de publieke verantwoordelijkheid voor ICT in relatie tot onderzoek, innovatie en onderwijs met prioriteit wordt opgepakt en binnen de rijksoverheid optimaal wordt gecoördineerd.

Deze publieke verantwoordelijkheid omvat in elk geval de verantwoordelijkheid voor de publieke ICT-infrastructuur voor onderwijs en onderzoek, voor de ontwikkeling van ICT-capaciteit door onderwijs en opleiding, voor de ontwikkeling van ICT-kennis door onderzoek, en voor de afstemming van dit alles met de private sector, in het bijzonder de topsectoren. Zorg daarmee voor meer focus en samenhang in het beleid dat ondersteunend is aan ICT-ontwikkelingen en waarborg daarbij een goede aansluiting van publieke op private initiatieven. Doe dit om zo goed mogelijk voorbereid te zijn op de veranderingen

die eraan komen in de structuur en het functioneren van de economie, de organisatie van economische activiteiten, en de omvang en de samenstelling van de werkgelegenheid. Een eerste stap om invulling te geven aan deze aanbeveling is het ontwikkelen van een integrale visie op ICT-beleid voor onderzoek, innovatie en onderwijs. Met de Wetenschapsvisie 2025, de nieuwe NWO-strategie, het meerjarenplan van SURF, de binnenkort te verschijnen Nationale Wetenschapsagenda en het komende plan van het ICT-topteam, zijn belangrijke bouwstenen voor zo'n visie beschikbaar. Het verbinden van onderdelen, het beleggen van verantwoordelijkheden en het afgeven van meerjarige *commitments* zijn noodzakelijke vervolgstappen die nog gezet moeten worden.

3.2 Betreffende het innovatiebeleid

De ontwikkeling van nieuwe ICT-toepassingen veroorzaakt veranderingen in de structuur van de economie. Niet alleen in de industrie, maar ook in allerlei dienstensectoren leidt het tot veel dynamiek, productontwikkeling en innovatie. Sectorgrenzen vervagen, traditionele producenten en leveranciers krijgen concurrentie uit onverwachte, vaak ICT-gedreven hoek. Meer dienstverlening wordt gekoppeld aan industriële producten. Handel in diensten vervangt steeds vaker handel in producten (betalen voor gebruik in plaats van voor bezit). Daarnaast leidt de ontwikkeling van ICT tot meer kleine bedrijven op de markt, meer netwerken van kleine bedrijven en meer starters.

Het Nederlandse innovatiebeleid is daarop nog te weinig toegesneden. Er liggen niet alleen kansen in de doorontwikkeling van het huidige bedrijvenbeleid, maar ook in een verbreding van het beleid naar het inspelen op de behoeften van starters, kleinere bedrijven en bedrijven buiten de maakindustrie.

Aanbeveling 2:

Geef meer prioriteit aan de ontwikkeling en exploitatie van ICT binnen het innovatiebeleid

- a) Zorg dat de topsectoren gezamenlijk de ontwikkeling en exploitatie van ICT oppakken. Bevorder dat ze daarvoor een actieplan ontwikkelen en middelen bijeenbrengen.
- b) Besteed daarnaast binnen het innovatiebeleid structureel aandacht aan behoeften die te weinig door het topsectorenbeleid worden afgedekt, met name die van dienstenproducenten, kleine innovatieve bedrijven en starters, en snijdt het beleidsinstrumentarium meer op deze behoeften toe.

ICT is een gezamenlijk belang dat topsectoren samen moeten oppakken. Innovatieve ICT-toepassingen binnen traditionele sectoren komen vaak van buiten, van nieuwe spelers in het veld, of uit nieuwe samenwerkingsverbanden.³⁶ Ook daarom is een gezamenlijke aanpak belangrijk. Dit vraagt niet alleen om overleg en afstemming, maar ook en vooral om gezamenlijke initiatieven en financiering, onder meer vorm te geven binnen de huidige ronde van innovatiecontracten. Het topteam ICT kan hierbij een katalyserende rol spelen, mits hierin voldoende gefaciliteerd en gesteund.

ICT-gedreven technologische verandering drijft de snelheid op waarmee productieprocessen en markten veranderen. Om onder die omstandigheden welvaart te kunnen blijven genereren, is het belangrijk flexibel en responsief te zijn. Responsief zijn wil onder andere zeggen dat structuren als topsectoren en TKI's niet belemmerend en conserverend mogen werken. De organisatie van samenwerking in kennisontwikkeling en innovatie moet voldoende dynamisch zijn om in te spelen op nieuwe ontwikkelingen die buiten bestaande structuren vallen.

Waar het gaat om behoeften van starters, kleine bedrijven en dienstenleveranciers, dient specifieke aandacht uit te gaan naar het accommoderen van innovaties die op ICT zijn gebaseerd. Het is van belang in regelgeving hierop te anticiperen en in wetgeving ten aanzien van onder andere eigendom, aansprakelijkheid en privacy ruimte te scheppen voor de toepassing van nieuwe technologie waar dat maatschappelijk wenselijk is.³⁷

Omdat ten gevolge van ICT de minimum efficiënte schaal van bedrijven afneemt en de snelheid waarmee bedrijven kunnen groeien toeneemt, krijgen in onze economie kleine, innovatieve bedrijven met groeiambities een groter belang. Van deze groeibriljanten moet in de toekomst een belangrijke bijdrage komen aan het verdienvermogen, de internationale concurrentiekracht en de werkgelegenheid in Nederland. Hiermee moet het innovatiebeleid meer rekening houden.³⁸

De Europese Commissie heeft een verdere integratie op Europees niveau van markten voor innovatieve diensten prominent op de agenda gezet.³⁹ Een geïntegreerde Europese dienstenmarkt voorziet innovatieve bedrijven van een grote thuismarkt. Het ontbreken daarvan is een van de oorzaken voor het achterblijven van Europa bij de Verenigde

³⁶ Het klassieke voorbeeld is de bedrijfstak die mechanische horloges produceerde: deze werd weggevaagd door elektronica-bedrijven. De toepassing van digitale technologie in de sector *Life Sciences & Health* komt van HTSM-achtige bedrijven als Philips en Siemens, maar ook van *startups* die *apps* produceren om je fysieke conditie te monitoren.

³⁷ Zie bijvoorbeeld de discussies die nu gevoerd worden over de toelaatbaarheid van de diensten van bedrijven als UberPop en Airbnb, maar ook over de inzet van *drones* voor spoedeisende medische hulp. Hier botst innovatie op regelgeving die is afgestemd op de technologische mogelijkheden van voorheen.

³⁸ Zie ook AWT (2014) *Briljante bedrijven*. Het recent gestarte StartupDelta is een uitstekend initiatief om ICT-gebaseerde vernieuwing te stimuleren, maar is nog wel sterk verbonden met de gevestigde orde.

³⁹ De Europese Commissie neemt reeds het voortouw bij de ontwikkeling van een Digital Single Market. Zie ook aanbeveling 5 in AWT (2012) *Diensten waarderen*.

Staten als bakermat van ICT-bedrijven als Microsoft en Apple en van dominante ICT-toepassingen als Facebook en Twitter. Het is in het Nederlandse belang de Europese Commissie op dit punt actief te steunen.

3.3 Betreffende het onderzoeksbeleid

Om optimaal te kunnen inspelen op de mogelijkheden in onderzoek en ontwikkeling die ICT schept, zijn diverse zaken van belang, waaronder een excellente publieke ICT-infrastructuur voor de publieke kennisinstellingen en stimulansen om transdisciplinair samen te werken aan complexe vraagstukken. Randvoorwaardelijk is een stevige positie in internationale netwerken van toponderzoekers.⁴⁰

Aanbeveling 3:

Faciliteer en ondersteun de verdere ontwikkeling van datagedreven onderzoek

- a) Zorg dat de Nederlandse kennisinstellingen kunnen blijven beschikken over een ICT-infrastructuur van topkwaliteit en verschaf SURF de daartoe vereiste middelen.
- b) Anticipeer op een toename in de behoefte aan ICT-investeringen het kader van de financiering van de Nationale Wetenschapsagenda.
- c) Verbeter de randvoorwaarden voor transdisciplinair onderzoek en ontwikkeling.

Nog beschikt Nederland over een excellente publieke ICT-infrastructuur voor het onderzoek. Hiermee behoort ons land tot de top van de wereld. Deze infrastructuur omvat zowel de digitale hard- en software (digitale netwerken, rekenvermogen en opslagcapaciteit), grotendeels ontwikkeld en gerealiseerd door SURF, als de data-infrastructuur (databases, collecties). Om de Nederlandse voorsprong op dit terrein te handhaven zijn op korte termijn substantiële investeringen nodig.⁴¹ Maar gegeven de ontwikkelingen op het gebied van met name *big data* valt te verwachten dat de noodzakelijke investeringen in de nabije toekomst verder zullen stijgen. Daarom is het raadzaam in het kader van de financiering van de Nationale Wetenschapsagenda hiervoor substantiële bedragen te reserveren. Tevens is een betere afstemming van de investeringen door SURF in de ICT-basisinfrastructuur en die van NWO in grootschalige onderzoeksfaciliteiten gewenst.⁴²

⁴⁰ Zie AWT (2014) Boven het maaiveld.

⁴¹ SURF geeft aan 8 miljoen euro per jaar tekort te komen die nodig zijn om de publieke ICT-infrastructuur voor onderzoek en onderwijs op peil te houden. Op 31 oktober 2014 hebben VSNU, NFU, Vereniging Hogescholen en LSVb daarover een brandbrief aan de bewindslieden van OCW en EZ gestuurd (te vinden via: http://www.scienceguide.nl/media/1744188/urgentie_innovatie_e-infrastructuur_hoger_onderwijs_en_onderzoek_ez_en_ocw.pdf). Medio april 2015 heeft de Tweede Kamer een motie van de leden Van Meenen en Vos aangenomen die het kabinet oproept om de begroting van SURF met de benodigde middelen aan te vullen: Tweede Kamer (2015) Gewijzigde motie van de leden Van Meenen en Mei Li Vos [...]. Hierop is in juni 2015 door de verantwoordelijke bewindslieden gereageerd: Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (2015) Uitvoering motie Van Meenen / Vos over SURF.

⁴² Ook de KNAW maakt zich zorgen over het gebrek aan voldoende structurele financiering voor digitale en andere infrastructuur en over tekortschietende landelijke coördinatie. Zie Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (2015) Ruimte voor ongebonden onderzoek – Signalen uit de Nederlandse wetenschap, p. 12 en pp. 43-44.

Om gebruik te maken van de nieuwe mogelijkheden die ICT het onderzoek biedt – en daarbij gaat het om meer onderzoek op basis van *big data*, meer onderzoek op systeemniveau, meer gebruik van patroonherkenning – is het belangrijk dat zowel kennisinstellingen als onderzoeksfinanciers hiervoor meer ruimte bieden. Dit vraagt om meer inzet op integrale benaderingen, datagedreven onderzoek en een transdisciplinaire aanpak, naast – en niet in plaats van – monodisciplinair en hypothesegedreven onderzoek. Complexe vraagstukken zoals gerelateerd aan de *grand challenges* bieden voor een systeembenadering een voor de hand liggend vertrekpunt. De strategie van NWO voor de periode 2015 – 2018 ruimt veel plaats in voor grensoverschrijdende samenwerking en benoemt complexiteit terecht als een opgave voor transdisciplinair onderzoek.⁴³ Het is van belang dat ook de Nationale Wetenschapsagenda oog heeft voor de vraagstukken die dankzij deze ontwikkelingen binnen het bereik van het wetenschappelijk onderzoek komen.

Het Nederlandse onderzoek bevindt zich in een goede positie om op deze nieuwe mogelijkheden in te spelen. Ons onderzoek staat in een traditie van samenwerking over grenzen heen. Daarbij kan het gaan om grenzen tussen disciplines (transdisciplinariteit), tussen instellingen en tussen landen. Nederlanders zijn goed vertegenwoordigd in de internationale netwerken van toponderzoekers. Ook beschikken we over een uitgebreide en langjarige ervaring met publiek-private samenwerkingsvormen. Ten slotte hebben we een weinig hiërarchische en weinig formele traditie in arbeidsverhoudingen. Dat alles biedt Nederland kansen om voorop te lopen in kennisabsorptie en zich te profileren op het integreren van kennis uit verschillende disciplines. Om deze kansen te kunnen grijpen, moeten de ICT-voorzieningen en financieringsmechanismen toegesneden zijn op de geschetste ontwikkelingen in het wetenschappelijk onderzoek. Als de overheid hierop inzet, schept dit aantrekkelijke mogelijkheden voor onderzoek en ontwikkeling en draagt dit bij aan de totstandkoming van innovatieve *hotspots* in Nederland.

3.4 Betreffende het onderwijsbeleid

De digitale revolutie verandert de structuur en het functioneren van de economie. Dat gaat gepaard met nieuwe eisen aan kennis en vaardigheden. Om ervoor te zorgen dat Nederland daarover in voldoende mate beschikt, moet het onderwijs zich op alle niveaus aanpassen.

⁴³ NWO (2015) NWO Strategie 2015 – 2018.

Aanbeveling 4:

Richt het onderwijs in op de eisen die een economie stelt waarin ICT een dominante technologie is

- a) Stimuleer een stevig accent op ICT-kennis en -vaardigheden in de curricula van het hoger onderwijs.
- b) Neem ICT-kennis en -vaardigheden ook op in de eindtermen van het basis- en voortgezet onderwijs.
- c) Versterk het accent op ondernemerschapsvaardigheden in het onderwijs.
- d) Schep de institutionele randvoorwaarden die het combineren of afwisselen van werken en leren gedurende het werkzame leven (leven-lang-leren) gemakkelijker maken.

Om te profiteren van de ontwikkeling van de sleuteltechnologieën van onze tijd, is het van belang te investeren in het opleiden van mensen in expertises die complementair zijn aan digitale technologie. Dat betekent investeren in de kennis en vaardigheden die nodig zijn om digitale techniek verder te ontwikkelen, waaronder *data sciences* en *data analytics*, *machine learning* en kunstmatige intelligentie. Het vraagt ook om investeringen in al die disciplines die gebruikmakend van ICT nieuwe kennis opleveren en mogelijkheden tot innovatie bieden. Dat zijn niet alleen natuurwetenschappelijke en medische wetenschappen, maar ook sociale wetenschappen en geesteswetenschappen. Er zijn in Nederland tekorten op het punt van ICT-capaciteit die naar verluidt nijpender zijn dan die aan bèta-afgestudeerden in het algemeen.⁴⁴

Zorgen voor voldoende ICT-gerelateerde kennis en vaardigheden begint op school. Alle scholieren behoren minimaal een begrip van computertechnologie op basisniveau te ontwikkelen en weet te hebben van hoe computers werken en wat ze kunnen.⁴⁵ Daartoe dienen alle basisscholen kinderen kennis te laten maken met computers en het internet en alle middelbare scholen aandacht te besteden aan digitale vaardigheden. Het beter ontwikkelen van digitale vaardigheden is een eerste stap in het tegengaan van technologische werkloosheid die mogelijk gepaard gaat met de snelle digitalisering van onze economie. In het hoger onderwijs verdient ICT een prominente plaats binnen de meeste disciplines. Alle studenten moeten leren omgaan met het digitale onderzoeksinstrumentarium. Bovendien is het van belang meer studenten op te leiden in ICT-gerelateerde vakken.

⁴⁴ Een recent initiatief om daar wat aan te doen, is de oprichting van een masteropleiding *data science* in Den Bosch door een samenwerkingsverband van TU/e en Tilburg University, waar *data science* gecombineerd wordt met economische en juridische invalshoeken. Zie: <http://www.emerge.nl/nieuws/plannen-graduate-school-data-science-volgende-fase>. Ook werd eind 2013 het *Data Science Center* in Eindhoven geopend.

⁴⁵ Zie hierover ook Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (2013) *Digitale geletterdheid In het voortgezet onderwijs – Vaardigheden en attitudes voor de 21ste eeuw*.

Door toepassing van ICT verandert de economische structuur, waardoor bedrijven kleiner, organisaties platter en zelfstandigen talrijker worden. Dientengevolge neemt de behoefte aan ondernemersvaardigheden toe. Het onderwijs moet in deze behoefte mede voorzien. Daarbij gaat het niet alleen om kennis van bedrijfsorganisatie, ondernemingsrecht, accountancy, marketing en financiering, maar ook om sociale vaardigheden, netwerkvaardigheden, assertiviteit en creativiteit. Trainingen daarin behoren een belangrijke plaats in opleidingscurricula in te nemen.

Tot slot is het in een economie die ten gevolge van snelle technologische ontwikkeling en communicatie zonder tijdsvertraging enorm snel verandert noodzakelijk om kennis-kapitaal permanent op peil te houden. Een dergelijke economie vraagt om voorwaarden die mensen in staat stellen om na hun reguliere opleiding leren en werken beter te combineren of af te wisselen en leven-lang-leren gestalte te geven. Gangbare economische arrangementen als arbeidsovereenkomsten, pensioenregelingen en ons systeem voor de inkomstenbelasting bieden voor leven-lang-leren maar beperkt ruimte.

Aldus vastgesteld te Den Haag, september 2015

Prof. dr. U. Rosenthal (voorzitter)

Dr. D.J.M. Corbey (secretaris)



Deel 2: Analyse

De bevindingen die in het eerste deel van dit rapport zijn gepresenteerd, stelen op de analyse die hieronder is uitgeschreven. Deze heeft drie onderdelen. In het eerste hoofdstuk maken we duidelijk waarom we in dit advies over de technologische ontwikkelingen van de toekomst de blik sterk op ICT concentreren. Het tweede hoofdstuk gaat over de manier waarop ICT doorwerkt in de economie en over hoe ICT in dit opzicht verschilt van eerdere general purpose technologies. Het derde hoofdstuk gaat over de manier waarop ICT nieuwe mogelijkheden schept voor processen van onderzoek en innovatie.

Technologische ontwikkeling en de dominantie van ICT

In Nederland concentreert de inzet van het innovatiebeleid zich momenteel op de topsectoren. Het topsectorenbeleid is 'integraal' beleid en daarom sluit een belangrijk deel van het onderzoeksbeleid hierop aan. De topsectorenaanpak is het kader waarbinnen het stimuleren van technologische ontwikkeling gestalte krijgt. Dit loopt via innovatiecontracten, *roadmaps* en Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's). Binnen elk van de TKI's zet men in op die technologieën die voor de betreffende topsector van belang zijn: technologieën voor plantenveredeling voor de tuinbouw, agronomische technologieën voor de landbouw, waterzuiveringstechnologieën voor de watersector, energietechnologieën voor de energiesector, medische technologieën voor de sector *Life Sciences and Health*, en dergelijke. Deze technologieën sluiten direct aan bij het economisch profiel van ons land.

Deze specifieke technologieën komen tot ontwikkeling op een brede en vruchtbare laag van sleuteltechnologieën die een toepassing vinden in vele verschillende domeinen. Dit zijn de technologieën die naar verwachting aan de basis van nieuwe producten en diensten zullen staan en ons zullen helpen in de richting van een concurrerende en ecologisch duurzame kenniseconomie. Hiermee kan een groot potentieel voor waardecreatie en productiviteitsverhoging gemoeid zijn. Welke technologieën dat precies zijn, ligt in de toekomst besloten, maar er zijn diverse kandidaten. De Europese Commissie schaaft onder *key enabling technologies* technologieën als nanotechnologie, micro- en nano-elektronica (halfgeleidertechnologie), nieuwe materialen, biotechnologie en fotonica.⁴⁶ Landen als Frankrijk, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk hanteren eigen, deels overlappende lijsten met sleuteltechnologieën.⁴⁷

Welke technologieën ontwikkelen zich tot sleuteltechnologieën?

Kenmerkend voor een sleuteltechnologie is dat deze niet alleen breed toepasbaar is, maar ook bijdraagt aan het vervullen van breed gevoelde behoeften. Nieuwe sleuteltechnologieën grijpen daar aan waar de meest nijpende beperkingen bestaan bij het gebruik van de oude technologieën. De sleuteltechnologieën van de eerste industriële revolutie – die van de zeventiende tot en met negentiende eeuw – waren een oplossing voor menselijke of dierlijke beperkingen aan energie en arbeidskracht. Mechanische apparaten vervingen de handen en de werktuigen van ambachtslieden. Fossiele brandstoffen die gebruikt konden worden om deze apparaten aan te drijven,

⁴⁶ Mededeling van de Europese Commissie (2012) Een Europese strategie voor sleuteltechnologieën – een brug naar groei en banen.

⁴⁷ Zie het tekstkader in paragraaf 2.2 (pp. 77-79) hieronder voor informatie over de aanpak in onze buurlanden.

bleken een bijna onuitputtelijke bron van energie. Plotseling konden grondstoffen tot eindproducten verwerkt worden, zonder dat de menselijke of dierlijke kracht, snelheid en uithoudingsvermogen nog beperkende factoren van belang waren. Hetzelfde gold voor het transport en de distributie van goederen en het vervoer van personen. Machines brachten snelheden tot ongekeerde hoogten en haalden wat vroeger ver was naderbij. Het gevolg van het wegvallen van de beperkingen van voorheen was het tot ontwikkeling komen van talloze nieuwe producten en diensten die vroeger niet en nu, dankzij overvloedige energie en voortgaande mechanisering, wel geproduceerd en gedistribueerd konden worden – en dat tegen bescheiden kosten.

In onze tijd – de periode van de tweede industriële revolutie – voltrekt zich over een reeks van decennia een vergelijkbaar proces. De op ICT gebaseerde sleuteltechnologieën van nu zijn een oplossing voor een andere menselijke beperking, die van het verwerken en delen van informatie: het denken en het communiceren. Waar mechanische innovaties onze handen vervingen, vervangen computers en digitale communicatiemiddelen onze breinen – en ze doen dat steeds meer en beter, naarmate ze krachtiger worden en meer cognitieve functies weten te beheersen. Tegenwoordig zijn rekenkracht en geheugen geen beperkende factoren meer. Doordat deze beperkingen zijn weggevallen, komen de laatste decennia almaar nieuwe producten en diensten op de markt die van deze overvloed profiteren.⁴⁸

Het is niet vreemd dat de technologieën die aangrijpen op de productiefactoren waarvan de schaarste het meest nijpend is, zich ontwikkelen tot sleuteltechnologieën. De economische prikkels om juist die technologieën verder te ontwikkelen en op steeds grotere schaal en op nieuwe manieren toe te passen, zijn enorm. Als van de meest nijpende schaarsten de sterkste prikkels uitgaan die tot nieuwe sleuteltechnologieën leiden, dan is het zaak te onderscheiden welke schaarsten ons in de nabije toekomst het meest in onze ontwikkeling beperken (of ons overleven het meest bedreigen). Op dit ogenblik gaat er een zekere *demand pull* uit van de noodzaak tot verduurzaming en vergroening, mede gedreven door het streven naar onafhankelijkheid van Russisch gas en Arabische olie en door klimaatverandering. Maar er is ook economische vraag die zijn oorsprong vindt in schaarste aan tijd (tijd van leven, tijd van hoge kwaliteit) en schaarste aan ervaringen (vermaak, sociale interactie, zingeving, zelfverwerkelijking).

De sleuteltechnologieën van onze tijd zijn op hun beurt in meer of mindere mate gebaseerd op een fundament van ICT. Sommige zijn rechtstreekse doorontwikkelingen

⁴⁸ Zie daarover Brynjolfsson en McAfee (2014) *The second machine age – Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*.

of 'verbijzonderingen' van ICT, zoals het gebruik van *big data* en nieuwe algoritmen (*data analytics*) als instrument om daarmee op nieuwe manieren informatie te genereren of allerhande nieuwe diensten te produceren. Een ander voorbeeld is *cloud technology* om data op te slaan en te delen en om allerhande nieuwe online producten en diensten aan te bieden. 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.⁴⁹ Dus, ICT is een *general purpose technology*, een *key enabler* voor alle andere *key enabling technologies* die voor Nederland van belang zijn.

ICT is niet het antwoord op alle technologische uitdagingen van de toekomst. Om klimaatverandering te accommoderen of af te remmen, om gezondheidsproblemen het hoofd te bieden en om onze energievoorziening te verduurzamen is meer nodig dan alleen ICT. Desalniettemin is ICT een onmisbaar onderdeel van welke oplossing dan ook. Dat geldt voor vrijwel alle technologische uitdagingen.

In de economische wetenschap zijn methoden ontwikkeld om economische groei te relateren aan veranderingen in technologie. Daarbij is technologische ontwikkeling een oorzaak die onderscheiden kan worden van andere factoren als toename van het arbeidsvolume en van de kwaliteit van het arbeidsaanbod. Het is methodologisch echter problematisch om technologische verandering nader uit te splitsen en economische groei toe te rekenen aan de toepassing van verschillende *key enabling technologies*, waaronder ICT-toepassingen. Dit heeft onder andere te maken met meetproblemen – hoe kwantificeer je de omvang van de toepassing van een bepaalde technologie? – en met de onderlinge afhankelijkheid van ICT en andere technologieën.

Toch zijn er aanwijzingen dat de impact van ICT op de economie nu en in de voorzienbare toekomst die van andere technologieën verre te boven gaat. Het in deel 1 al aangehaalde rapport van McKinsey (2013) over twaalf *disruptive technologies* wijst in deze richting. Deze twaalf technologieën zijn in te delen in vier brede categorieën. Vier technologieën vallen in de categorie '*ICT and how we use it*': mobiel internet, *cloud technology*, *internet of things* en automatisering van kenniswerk. Meer dan driekwart van de economische impact van deze twaalf technologieën in het komend decennium,

⁴⁹ National Science Foundation (2003) *Converging Technologies for Improving Human Performance* – nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science; Doorn (2006) *Converging technologies - Innovation patterns and impacts on society*; MIT (2011) *The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and Engineering*.

gemeten in termen van jaarlijkse additionele toegevoegde waarde wereldwijd, kan volgens McKinsey op het conto van deze vier worden geschreven.⁵⁰ Drie technologieën vallen in de groep 'nieuwe machines': geavanceerde robots, autonome en semi-autonome voertuigen en 3D-printing. Dit zijn technologieën die ICT combineren met mechanica, elektrotechniek en andere technologieën. De geschatte economische impact van deze groep tot 2025 is rond een vijfde van die van de eerste groep, maar nog altijd veel groter dan die van de overige twee groepen. Deze twee groepen zijn 'nieuwe energietechnologie': energieopslag, geavanceerde olie- en gaswinning (horizontaal boren, *fracking*, en dergelijke), en hernieuwbare energiebronnen, en *'the building blocks of everything'*: *next-generation genomics* en nieuwe materialen. Samen hebben deze groepen een geschatte economische impact die ongeveer een tiende deel is van de impact van de eerste groep.⁵¹

De schattingen van McKinsey leiden tot de conclusie dat de disruptieve technologieën met verreweg de grootste verwachte economische impact direct op ICT zijn gebaseerd. ICT is een essentieel onderdeel in een breed spectrum aan productietechnologieën en aan technologieën die handel faciliteren. Bovendien is het een essentieel instrument in onderzoek en innovatie, de motor die de dynamiek van een hedendaagse economie op gang houdt.

ICT is het fundament onder de tegenwoordige technologische ontwikkeling. Het wordt overal gebruikt en zit overal in. Het is belangrijk voor alle activiteiten van productie en consumptie. ICT wordt sinds jaar en dag beschouwd als een 'dwarsdoorsnijdend thema' waarvoor iedereen samen verantwoordelijk is. In de onzichtbaarheid van ICT binnen de Nederlandse beleidsstructuren schuilt een risico. Daarom zet dit advies ICT in de schijnwerpers. Het stelt de vraag waarin het disruptieve karakter van ICT is gelegen: wat maakt ICT anders? Om een antwoord te geven op deze vraag, wijden we de rest van dit hoofdstuk aan een nadere karakterisering van ICT en kijken we in het volgende hoofdstuk naar de economische impact.

1.1 Informatie- en communicatietechnologie

Onder ICT verstaan we in dit rapport niet alleen de computer en het internet, maar het geheel aan technologieën achter de computerhardware, software, telecommunicatie-apparatuur en digitale data die gebruikt worden voor het genereren, uitwisselen en verwerken van informatie. Het internet is een belangrijke ICT-toepassing en een

⁵⁰ Zie specifiek over de te verwachten impact van het *Internet of Things*: McKinsey Global Institute (2015) *The internet of things: Mapping the value beyond the hype*.

⁵¹ Het beeld dat McKinsey Global Institute (2013) schetst, komt vergaand overeen hetgeen te vinden is in ING Economisch Bureau (2015) *Hightech meets business – De economische impact van technologie voor sectoren, organisaties en mensen*.

belangrijk platform voor communicatie. Het kent zijn eigen uitdagingen en zijn specifieke vraagstukken, bijvoorbeeld op het gebied van veiligheid en privacy. De technologische basis van het internet zoals dit nu functioneert, is ver doorontwikkeld. Verdere toevoegingen zitten in de toepassings sfeer. Maar er komen daarnaast kwalitatief andere technologische ontwikkelingen op gang. Deze maken gebruik van *big data* en nieuwe algoritmen (*data analytics*) of resulteren in *machine learning*, apparaten die met hun omgeving communiceren en in reactie op signalen uit hun omgeving hun gedrag aanpassen.

ICT is eerst en vooral een instrument. Het is een grote en krachtige gereedschapskist die gebruikt wordt in allerlei domeinen en mede bepaalt hoe die domeinen zich ontwikkelen. Maar het is niet alleen een instrument dat ons in staat stelt wat we al deden efficiënter te doen. Het is ook een instrument om wezenlijk nieuwe dingen te doen en daarmee een disruptieve kracht die het functioneren van onze samenleving verandert.

De ontwikkeling van ICT gaat terug op het ontwerp voor een mechanische, programmeerbare, digitale computer (*analytical engine*) van Charles Babbage en Ada Lovelace uit het midden van de negentiende eeuw, de Hollerith-machines van het begin van de twintigste eeuw en het werk van Alan Turing tijdens de Tweede Wereldoorlog. De eerste op silicium gebaseerde transistor, een belangrijke bouwsteen voor computers, stamt uit 1954. De exploitatie van de mogelijkheden komt pas echt op gang in 1971 met de introductie van de microprocessor en gaat nog steeds voort.

ICT wordt beschreven als de basistechnologie waarop de huidige 'lange golf' is gebaseerd.⁵² De technologie bevindt zich nu volop in de fase van exploitatie. Digitale technologie is steeds krachtiger, sneller en flexibeler. De verbreding en verdieping van de exploitatie van ICT is zichtbaar in diverse gebieden: het genereren en gebruiken van *big data* voor allerlei praktische toepassingen, de ontwikkeling en het gebruik van visualisatie- en simulatietechnieken voor virtuele werelden, de ontwikkeling van een *internet of things*, van nieuwe generaties robots, van printers voor driedimensionale objecten uit uiteenlopende materialen. Brynjofsson en McAfee karakteriseren de digitale revolutie waarin wij ons bevinden aan de hand van drie zaken: exponentiële groei, *big data* en nieuwe combinaties.⁵³

⁵² Zie bijvoorbeeld Perez (2009) Technological revolutions and techno-economic paradigms, voor een uitgebreide beschrijving van de dynamiek van lange golven in de economische ontwikkeling. De vorige waren achtereenvolgens gebaseerd op: i) mechanisatie (textielindustrie) en gebruik van ijzer; ii) stoommachines en railtransport; iii) machinebouw en chemische technologie, gebruik van staal en van elektriciteit; iv) gebruik van fossiele brandstoffen: petrochemie, verbrandingsmotoren (auto's, vliegtuigen), elektrische apparaten, organisatie van massaproductie.

⁵³ Brynjofsson en McAfee (2014) The second machine age – Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies.

1. Exponentiële groei

De capaciteitstoename van digitale instrumenten volgt – al jaren en nog steeds – een exponentiële curve. Het rekenvermogen dat per euro te koop is, verdubbelt jaar in, jaar uit grofweg elke anderhalf tot twee jaar. Dit staat bekend als de wet van Moore. De kosten van geheugencapaciteit van digitale apparaten hebben een vergelijkbare ontwikkeling doorgemaakt, net als die van datatransmissie.⁵⁴ Hierdoor zijn steeds meer toepassingen binnen handbereik gekomen. De wet van Moore is een verbazingwekkend accurate beschrijving van de ontwikkelingen in computertechnologie geweest vanaf 1965, het moment waarop Gordon Moore zijn ‘wet’ formuleerde. Er is wel debat over de mogelijkheid dat *‘Moore’s law is running out of steam’*, maar er zijn geen overtuigende aanwijzingen dat dit in het komende decennium reeds het geval zal zijn.⁵⁵

2. De voortgaande explosieve groei van digitale informatie: big data

Een groeiend aantal apparaten en sensoren produceert een grote en verder aanzwellende stroom aan digitale informatie. Negentig procent van de bestaande digitale data zijn in de afgelopen twee jaar gecreëerd.⁵⁶ Het gaat daarbij om digitale vormen van tekst, geluid, beeld, data van apparaten en sensoren, et cetera. Men spreekt van *big data*, een verschijnsel dat gekarakteriseerd wordt door de drie V’s: volume, *velocity* (snelheid) en variëteit. *Volume* refereert aan het feit dat datasets tegenwoordig vaak geen steekproeven meer zijn, maar de hele populatie omvatten: alle klikken op het internet, alle transacties in een winkel, alle bewegingen van voertuigen op de weg. *Velocity* verwijst naar het verschijnsel dat veel (sensor)data tegenwoordig *real time* beschikbaar komen. Dit maakt het mogelijk waar te nemen hoe complexe processen zich in de tijd ontvouwen. *Variëteit* verwijst naar de vele bronnen die data leveren, de uiteenlopende *formats* en structuren van data.⁵⁷

3. Innoveren op basis van combineren

De combinatie van steeds meer computerkracht en steeds meer data zal vooralsnog ongekende mogelijkheden voor innovatie en waardecreatie openen. De datastroom groeit en de instrumenten om nieuwe dingen met deze data te doen, nemen in kracht

⁵⁴ De transmissieprijs van data is tussen 2001 en 2010 gedaald met een factor tien, terwijl de snelheid met een factor tien is toegenomen; de prijs van GPS in een apparaat is in twintig jaar gedaald van enkele honderden dollars tot rond één dollar; de prijs van een CCD-detector (in camera’s en scanners) is tussen 1995 en 2005 met een factor honderd gedaald, aldus Buchholtz et al. (2014) *Big and open data in Europe – A growth engine or a missed opportunity?*, p. 44.

⁵⁵ McAfee citeert een ICT-onderzoeker die op de vraag *‘How much more time do we have with Moore’s Law?’* het treffende antwoord gaf: *‘Five more years, same as the last 30 years.’* Uiteraard komen de fysieke grenzen in zicht, maar er is voorlopig nog perspectief. Zie ook bijvoorbeeld <http://www.techradar.com/news/computing/moore-s-law-how-long-will-it-last--1226772/2>, dat een heel spectrum aan mogelijkheden aanduidt om computerkracht verder op te voeren en eindigt met: *‘when Moore’s Law stops, it will be economics that stops it, not physics. So keep your eye on the money.’* ASML laat in een persbericht van 24 november 2014 weten er vanuit te gaan dat de wet van Moore de komende tien jaar zijn geldigheid nog wel behoudt: zie <http://www.asml.com/asml/show.do?lang=EN&ctx=5869&rid=51026> en <http://www.volkskrant.nl/tech/asml-doorbreekt-natuurwet-nog-meer-transistor-op-chip-a3797238/>.

⁵⁶ Buchholtz et al. (2014) *Big and open data in Europe – A growth engine or a missed opportunity?*, p. 45.

⁵⁷ Zie voor een toegankelijke introductie tot *Big data*: Osseyran en Vermeend (2014) *De revolutie van Big data – Een verkenning van de ingrijpende gevolgen*.

toe. Daarmee leidt *big data*, in beginsel een kwantitatief fenomeen, tot kwalitatieve veranderingen: we krijgen grip op de dynamiek van complexe fenomenen in al hun detail. We krijgen ook de instrumenten in handen om te kunnen voorspellen zonder te kunnen verklaren, om te modelleren zonder een onderliggende theorie, om beslissingen te nemen op basis van volledige sets van waarnemingen.⁵⁸ Dit alles biedt perspectief op innovaties, gebaseerd op het op originele manieren combineren van nieuwe ICT-instrumenten met nieuwe datastromen. Er zijn enorm veel nieuwe combinaties mogelijk, getuige alleen al de constante stroom aan nieuwe apps en via digitale netwerken verbonden apparaten die door allerlei ondernemers worden gelanceerd. De nieuwe mogelijkheden leiden ook tot nieuwe vormen van organisatie en nieuwe verdienmodellen, zoals die waarbij veel programmatuur gratis ter beschikking komt en veel digitale *content* om niet (dan wel in ruil voor persoonlijke informatie) gedeeld wordt.

Wat kan een computer leren?

Computers zijn machines die instructies uitvoeren. Ze gaan op een heel andere manier met informatie om dan het menselijk brein. Computers kunnen alleen overweg met expliciete kennis, met kennis die in software en data geformaliseerd kan worden. Menselijk handelen stoelt echter vaak op impliciete kennis, op *tacit knowledge*: “*you know more than you can tell*”. De meeste mensen weten hoe ze moeten lopen en fietsen (motorische vaardigheden), hoe ze zich in onoverzichtelijke situaties kunnen redden (intuïtie), hoe ze het best op een ander kunnen reageren (sociale vaardigheden). Maar omdat ze het niet kunnen expliciteren, valt het niet te programmeren. Veel van het menselijk functioneren berust op *tacit knowledge*.

Technologische vooruitgang in ICT is momenteel voor een belangrijk deel de computer *tacit knowledge* bijbrengen. *Tacit knowledge* is een rijkgeschakeerde barrière waartegen de verdere automatisering van arbeid aanloopt. Veel inspanningen in computerwetenschappen en *engineering* zijn erop gericht deze barrière stap voor stap te overwinnen. Voorbeelden zijn interpretatie van auditieve informatie (spraakherkenning) en visuele informatie (herkenning van beelden) en het optimaliseren van sensomotorische activiteit (de voetballende robot, de zelfchaufferende auto).

Er zijn twee strategieën die men volgt om processen te automatiseren die op *tacit knowledge* berusten wanneer mensen ze uitvoeren en waarvoor de regels impliciet

⁵⁸ Buchholtz et al. (2014) Big and open data in Europe – A growth engine or a missed opportunity?, p. 42; zie ook p. 52: ondernemingen die *data-driven decision making* hanteren, hebben gemiddeld een vijf à zes procent hogere productiviteit dan concurrenten die gebruik maken van intuïtiegedreven beslissingsprocedures (Brynjolfsson et al. (2011) Strength in Numbers: How Does Data-Driven Decisionmaking Affect Firm Performance).

zijn.⁵⁹ De eerste, traditionele strategie draait om het reduceren van de behoefte aan *tacit knowledge*. Waar mensen *tacit knowledge* voor nodig hebben, en waar machines daarom moeite mee hebben, is autonoom te functioneren in een onvoorspelbare omgeving. Deze strategie berust daarom op het simplificeren en voorspelbaar maken van de omgeving. Dat is precies wat in een geautomatiseerde fabriek is gebeurd: robots kunnen doen wat ze moeten doen omdat het te bewerken object altijd exact hetzelfde uitziet en op precies dezelfde wijze voorbij komt. De zelfchafferende auto kan – gewapend met alle beschikbare geografische en ruimtelijke informatie – vooralsnog alleen zijn weg vinden in eenvoudige verkeerssituaties en in een voorspelbare omgeving (bijvoorbeeld op de snelweg, maar veel minder in het stadsverkeer).

De tweede strategie berust op *machine learning*, op statistiek en inductie om een computer zo goed mogelijk te laten ‘raden’ hoe iets – een geluid, een woord, een afbeelding, een situatie – geïnterpreteerd moet worden als er geen sluitende regels te geven zijn. Sommige vertaalprogramma’s werken op deze manier. Aan de hand van een groot aantal voorbeelden bepaalt de computer inductief en met statistische methoden wat karakteristiek is voor een opgave en gebruikt dit voor het interpreteren van nieuwe opgaven. Wanneer bijvoorbeeld in de database van vertalingen een bepaald woord in een bepaalde context in de brontaal vaak voorkomt in combinatie met een ander woord met corresponderende context in de doeltaal, is het tweede woord waarschijnlijk een goede vertaling van het eerste. Op basis van deze statistische regelmatigheid kan de computer vertalen zonder veel expliciete regels, zonder te weten wat de definities van woorden zijn. Net zo suggereren webwinkels producten die mogelijk interessant voor je zijn. Op een vergelijkbare manier kan een computer ook beeldmateriaal leren interpreteren. Neem bijvoorbeeld de opgave: geef aan of dit een afbeelding is van een stoel – en dat zonder te beschikken over een formele beschrijving van hoe een stoel op een tweedimensionale afbeelding eruitziet (drie of vier poten, zitting, wel of geen leuning – van voren, van opzij, van boven, schuin, ...). Op deze manier doet de computer niet wat het menselijk brein doet, maar simuleert het dit afhankelijk van de gebruikte algoritmes meer of minder accuraat.

Een computer of een robot kan werkzaamheden van een mens overnemen indien aan twee condities is voldaan: i) de informatieconditie: alle informatie die voor het uitvoeren van een activiteit nodig is, kan worden geïdentificeerd en is beschikbaar in een vorm die een computer kan verwerken, en ii) de procesconditie: het informatie-verwerkingsproces zelf kan worden uitgedrukt in regels.⁶⁰

⁵⁹ Zie Autor (2014) Polanyi's paradox and the shape of employment growth, paragraaf vi.

⁶⁰ Zie Levy en Murmane (2013) Dancing with robots – Human skills for computerized work.

Die regels kunnen gebaseerd zijn op de eerste strategie, en dan gaat het om deductieve regels, waarbij informatieverwerking een logisch gestructureerd stapsgewijs proces is. Ze kunnen ook gebaseerd zijn op de tweede strategie, en dan gaat het om inductieve regels, waarbij de regels de vorm aannemen van statistische vergelijkingen die een relatie leggen tussen informatie-input en informatie-output op basis van correlaties (patroonherkenning). Aan de informatieconditie is vaak niet voldaan omdat voor veel werkzaamheden allerlei ongearticuleerde informatie (vaak *common sense* en *tacit knowledge*) nodig is. Aan de procesconditie is veelal moeilijk te voldoen omdat veel werkzaamheden tegen onverwachte situaties aanlopen waarin geïmproviseerd moet worden.

1.2 Meer over big data

Big data is een verschijnsel dat ons goeddeels overkomt.⁶¹ Er is een explosieve groei van activiteiten van mensen en apparaten die gegevens gebruiken en als een neveneffect een datastroom creëren die ook voor andere doeleinden gebruikt kan worden. Veel *big data* vinden hun oorsprong in de transacties van bedrijven waarbij allerlei gegevens digitaal worden vastgelegd over producten, processen, klanten en toeleveranciers. Of ze vinden hun oorsprong in registraties bij publieke instellingen als gemeenten, de belastingdienst, het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), ziekenhuizen en zorginstellingen (het elektronisch patiëntendossier, EPD) en scholen. Of ze komen uit de registraties van sensoren in mobiele telefoons, in slimme energiemeters, in machines en voertuigen, in MRI-scanners in ziekenhuizen, in GPS-apparatuur, in betaalpassen en in kaarten voor het openbaar vervoer. Verder ontstaan brede stromen van *big data* door internetgebruik, emailverkeer en activiteiten op sociale media. Steeds meer menselijk handelen laat digitale sporen na. In het algemeen betreft het hier omvangrijke datastromen als bijvangst, waar waarde mee te creëren valt door slim hergebruik. Deze data zijn heel divers van aard. Het aandeel data uit continue bronnen groeit. Naast tekst omvat digitale informatie steeds meer geluid, beeld en bewegend beeld (video).

Niet alle *big data* zijn bijvangst. Doordat apparaten en sensoren die data genereren zo sterk in kosten zijn gedaald, is het mogelijk geworden zaken nu continu waar te nemen en te registreren die dat vroeger niet waren. Dat heeft vooral de perspectieven in de wetenschap enorm verruimd. Grote installaties als de *Square Kilometer Array* (SKA) radiotelescoop, die in Zuid-Afrika en Australië wordt gebouwd door 67 wetenschaps-teams uit twintig landen, en de *Large Hadron Collider* (LHC), die door CERN is gebouwd

⁶¹ Men spreekt van *Big Data* bij dataverzamelingen die te omvangrijk zijn om op te slaan en te analyseren met traditionele software die gebruik maakt van relationele databases. Voor *big data* zijn inmiddels alternatieven ontwikkeld die gebruikmaken van zogenaamde NoSQL-technologie en van massale parallelle gegevensverwerking.

op de grens van Zwitserland en Frankrijk met bijdragen van wetenschappers uit meer dan honderd landen, produceren meer data dan opgeslagen kunnen worden. Data veranderen van een voorraadgrootheid in een stroomgrootheid. Van de gigantische hoeveelheid data die de LHC produceert, wordt slechts ongeveer 0,4 procent opgeslagen.⁶² Volgens sommigen luidt *big data* een nieuw tijdperk voor de wetenschap in.⁶³ Nadat wetenschap eeuwenlang een beschrijvende, empirische activiteit is geweest, werd het na de Verlichting ook een theoriegedreven, verklarende activiteit. In de laatste decennia van de vorige eeuw kwam naast beschrijven en verklaren ook nog de mogelijkheid tot het simuleren van complexe fenomenen met computermodellen bij, om daarmee meer grip op de werkelijkheid te verkrijgen. Met *big data* komt de wetenschap volgens sommigen in een vierde stadium terecht, waarin theorie, experiment en simulatie samenkomen omdat gegevenssets niet langer steekproeven zijn, maar volledige sets van waarnemingen.

De vraag is nu hoe deze grote datastromen tot waarde gebracht kunnen worden. Voor de wetenschap biedt *big data* grote kansen. Daarvan zullen niet alleen de astronomie en de natuurkunde profiteren, maar ook de medische en farmaceutische wetenschappen en de biowetenschappen. Zo bieden bijvoorbeeld de uitgebreide patiëntgegevens die verzameld worden via beeldopnamen met MRI-scanners, via genetisch onderzoek met *next-generation sequencing* apparatuur en via bewakingsapparatuur met sensoren die mensen permanent meedragen, in combinatie met allerlei andere gegevensbronnen, aantrekkelijke mogelijkheden om behandelprotocollen te verbeteren, geneesmiddelen te testen, en behandeltrajecten beter op persoonskenmerken af te stemmen.⁶⁴ Grote kansen liggen er ook voor de klimaatwetenschappen, die profijt trekken van de steeds verfijndere netwerken van sensoren die data verzamelen betreffende het weer en de atmosfeer. Hetzelfde geldt voor de sociale wetenschappen en de economie, die de beschikking krijgen over steeds meer microdata over individueel gedrag, en de menswetenschappen, die over steeds meer digitale instrumenten beschikken om gestructureerde informatie te destilleren uit grote hoeveelheden ongestructureerde digitale tekst en andere informatie.

Minder duidelijk is wat het economisch en maatschappelijk profijt van *big data* zal zijn, maar de verwachtingen zijn hooggespannen. McKinsey (2011) schat bijvoorbeeld dat de gezondheidssector in de Verenigde Staten met *big data* per jaar 300 miljard dollar aan extra waarde kan genereren (meer dan het zorgbudget van Spanje) en dat consumenten wereldwijd per jaar 600 miljard dollar aan extra waarde zouden kunnen genieten bij een optimaal gebruik van persoonlijke *locational data*. Europese overheden zouden per jaar

⁶² Osseyran en Vermeend (2014) De revolutie van Big Data.

⁶³ Gray (2009) The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery.

⁶⁴ McKinsey Global Institute (2013) Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy, schat bijvoorbeeld dat het gebruik van *remote health monitoring* kan leiden tot een reductie van tien tot twintig procent in de behandelkosten van chronische ziekten. Zie ook McKinsey Global Institute (2011) Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity.

250 miljard euro aan extra waarde kunnen genereren (meer dan het BBP van Griekenland).

Er zijn allerlei manieren waarop bedrijven en publieke organisaties, maar ook consumenten, waarde zouden kunnen ontleen aan *big data*. Meer data kan leiden tot meer transparantie, bijvoorbeeld van het aanbod en van prijzen op markten. Dat op zichzelf kan al een grote bron van waarde zijn en leiden tot een meer efficiënte allocatie van goederen en diensten. Meer *real time* data omtrent het gedrag van consumenten kan bedrijven helpen hun potentiële afzetmarkt beter te segmenteren, hun producten aan individuele behoeften aan te passen en hun marketing af te stemmen op actuele ontwikkelingen in consumentenvoorkeuren. Meer continue data betreffende de interne bedrijfsprocessen kan bedrijven helpen hun productieplanning en hun distributiesystemen te optimaliseren. Meer actuele data omtrent productprestaties, bijvoorbeeld ontleend aan ingebouwde sensoren, kan helpen het onderhoud van producten efficiënter te regelen en producten gericht te verbeteren. Het gebruik van *big data* en geavanceerde algoritmen in beslissingsondersteunende systemen kan ertoe leiden dat de bestuurders van bedrijven nieuwe inzichten ontwikkelen, betere beslissingen nemen en risico's beter inschatten. Ten slotte kan het gebruik van big data leiden tot nieuwe producten en diensten en nieuwe verdienmodellen.⁶⁵

Om de potentie van *big data* te realiseren, moet aan een reeks van voorwaarden worden voldaan. De belangrijkste is dat er genoeg mensen met verstand van zaken beschikbaar moeten zijn. Op dit moment zijn er grote tekorten voorzien aan *data scientists* met expertise op het gebied van databases en *data analytics*, de algoritmen om *big data* te bewerken en te analyseren. Verder zijn er mogelijke knelpunten in regelgeving en waarborgen ten aanzien van eigendom en gebruik van data, *privacy* en *security*. Dit speelt bijvoorbeeld sterk bij medische en financiële persoonsgegevens. Er is het risico dat er op basis van exclusieve toegang tot data nieuwe monopolies en economische machtsposities ontstaan die moeilijk te reguleren zijn.⁶⁶

Een voorbeeld: tekstanalyse van discussies op internetfora tussen patiënten met Gastro Intestinale Stroma Tumor (GIST)

Een groot deel van de data die via het internet wordt uitgewisseld, bestaat uit tekst: e-mailverkeer, discussies via *social media*, commentaren op berichten, en dergelijke. De analyse daarvan gebeurt met *computational linguistics*, programmatuur voor het verwerken en analyseren van natuurlijke taal. Hiermee analyseren bedrijven als Google en Facebook bijvoorbeeld zoekopdrachten en *blogposts* voor marketing-

⁶⁵ Zie McKinsey Global Institute (2011) Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity, en Buchholtz et al. (2014) Big and open data in Europe – A growth engine or a missed opportunity?.

⁶⁶ Cukier en Mayer-Schönberger (2013) The rise of Big Data.

doeleinden. Gebruikers krijgen gepersonaliseerde reclameboodschappen aangeboden.

Een recent gestart onderzoeksproject gebruikt tekstanalyse voor een totaal ander doel: het verkrijgen van informatie die nuttig kan zijn voor kankeronderzoek. Als mensen met kanker geconfronteerd worden, gaan ze op zoek naar informatie over hun diagnose, overlevingskansen, behandelmogelijkheden en ervaringen van lotgenoten. Dit is met name het geval bij zeldzame vormen van kanker, waarover in het algemeen weinig bekend is, behalve bij oncologen die in de betreffende ziekte zijn gespecialiseerd. Patiënten zoeken niet alleen, maar gaan ook in dialoog met medepatiënten over de hele wereld, via speciale patiëntenfora en *social media*. Men wisselt gegevens uit over de eigen ziekte, behandeling, medicijngebruik, effecten van de behandeling, bijwerkingen van medicijnen, kwaliteit van leven, emoties, et cetera. Die discussies bevatten informatie die veelal niet bij de behandelende specialist terecht komt. Een bezoek aan de arts is kort: net genoeg gelegenheid om de laatste scanresultaten te bespreken en eventuele aanpassingen van de behandeling, en dan is de tijd om.

Analyse van de discussies tussen patiënten onderling kan waardevolle informatie opleveren, bijvoorbeeld over: nog onbekende bijwerkingen van medicijnen; mogelijke invloed van erfelijke factoren; co-morbiditeit; medicijntrouw; kwaliteit van leven; ongewenste effecten van combinaties van medicijnen en specifieke voedingsmiddelen; effecten van levensstijl op het ziekteverloop; alternatieve behandelingen die patiënten volgen. Naast analyse van de discussies en extraheren van de relevante informatie kan met *data mining* technieken gezocht worden naar patronen die mogelijk in de data aanwezig zijn. Met statistische methoden kan nagegaan worden of het gelijktijdig optreden van verschijnselen bij eenzelfde patiënt (bijvoorbeeld twee verschillende vormen van kanker) op toeval berust, of dat er aanleiding is om een oorzakelijk verband te veronderstellen. Dit kan vervolgens nader onderzocht worden en tot nieuwe inzichten leiden.⁶⁷

1.3 De aandacht voor ICT in het beleid

Het belangrijkste kanaal waarlangs de Nederlandse overheid momenteel investeringen ten behoeve van de innovatiekracht van Nederland geleid, is het topsectorenbeleid. Binnen de negen topsectoren hebben investeringen in verdere ontwikkeling en innovatieve toepassingen van ICT geen duidelijke plek. Ze zijn verspreid over diverse topsectoren, waarbij een accent ligt binnen de topsector High Tech Systemen &

⁶⁷ Met dank aan Gerard van Oortmerssen, hoogleraar Universiteit Tilburg, evolutie van het internet, voor dit voorbeeld.

Materialen (HTSM). Het innovatiecontract HTSM voor de periode 2014 – 2015 omvat zeventien *roadmaps* met meerjarenplannen voor specifieke technologieën en toepassingen. Het gaat hierbij om tien toepassingen (bijvoorbeeld halfgeleiderapparatuur, printen en verlichting), vijf zogeheten HTSM-technologieën (bijvoorbeeld componenten & circuits en fotonica) en twee cross-sectorale technologieën (ICT en nanotechnologie). De R&D-investeringen voor de verschillende *roadmaps* lopen sterk uiteen, van bedragen rond de tien miljoen euro per jaar voor thema's als *printing* en *embedded systems*, tot 160 miljoen euro voor halfgeleiderapparatuur en 180 miljoen euro voor *healthcare*.⁶⁸

De investeringen in generieke ICT, los van toepassingen, vallen in de middenmoot met geplande bedragen van rond de 40 miljoen euro per jaar in 2013, oplopend richting 80 miljoen euro in 2015. Topsector HTSM signaleert dat de beperkte focus op generieke ICT te maken heeft met het wegvallen van de nationale ondersteuning uit het FES (Fonds Economische Structuurversterking). Dit betreft met name het programma COMMIT/ in de *roadmap* ICT en ook NanoNextNL in de *roadmap* Nanotechnologie. Daarom is er de ambitie om de cofinanciering vanuit de Europese Commissie te laten groeien naar 120 miljoen euro per jaar in 2016 (voor alle *roadmaps* samen). Voor ICT is de totale inzet in 2016 hiermee geraamd op 90 miljoen euro. De investeringen die vanuit het bedrijfsleven verwacht worden, nemen hierbij ook toe van 14 miljoen euro in 2013 naar 35 miljoen euro in 2016.

Tabel 1 Thema's en budgetverdeling in Roadmap ICT (2012)

Thema	Percentage van ICT-budget in 2012
ICT om op te vertrouwen <i>Veilige en betrouwbare infrastructuur</i>	21%
ICT-systemen voor monitoring en control <i>Communicatie tussen sensornetwerken</i>	16,4%
ICT voor een verbonden wereld <i>Standaardisatie, open data, software als dienst</i>	11%
Data, data, data <i>Innovatief datamanagement en -detectie</i>	25,6%
Waarde- en informatieketens <i>ICT in bedrijven en procesinnovaties</i>	8%
Menselijk en maatschappelijk kapitaal <i>Internationaal georiënteerde ondernemingen</i>	5%

⁶⁸ Topsector HTSM (2013) Innovatiecontract 2014-2015 High Tech Systemen en Materialen; zie voor geactualiseerde gegevens <http://www.hollandhightech.nl>.

De ICT-*roadmap* is opgedeeld in zes thema's. In tabel 1 is te zien welk percentage van het beschikbare budget in 2012 naar welk thema ging. De voorgenomen verdeling voor de jaren na 2012 is in de huidige innovatiecontracten niet terug te vinden.

Naast het topsectorenbeleid zijn er een paar andere initiatieven waarop momenteel wordt ingezet. Het ministerie van Economische Zaken investeert samen met FME en TNO in het op een hoger plan tillen van *Smart Industry*, de ontwikkeling van het *internet of things* in de industrie. Hiermee sluit Nederland aan op een proces waarmee de Duitse industrie nu volop bezig is en dat daar Industrie 4.0 genoemd wordt. Hiervoor is in 2014 een agenda gepresenteerd en worden nu fondsen gezocht.

Actieagenda smart industry

“De ambitie van het *Team Smart Industry* is een sterke Nederlandse industrie die groeit en voor banen zorgt. De digitalisering van de industrie biedt het Nederlandse bedrijfsleven grote kansen om competitief te blijven in een toenemende mondiale concurrentiestrijd. Deze ontwikkeling is onontkoombaar, niet meedoen is geen optie. Uit alle statistieken blijkt dat ICT op dit moment de belangrijkste *driver* is voor productiviteitsgroei. Bedrijven zullen daarom de ambitie moeten hebben om voorop te lopen. Deze actieagenda ondersteunt het bedrijfsleven in die ambitie. De actieagenda is een verdieping van het bestaande topsectorenbeleid en het Techniekpact.”⁶⁹

De Actieagenda *Smart Industry* richt zich op de brede industrie, van agro-food tot logistiek en van chemie tot de hightech. Deze realiseert met bijna 320.000 bedrijven en 1,4 miljoen werkzame personen zo'n 6,4 miljard euro aan R&D uitgaven, ruim 440 miljard euro aan productiewaarde en 173 miljard euro aan exportwaarde, en alles samen 145 miljard euro aan toegevoegde waarde. De productiegroei van de industrie is groter dan gemiddeld in Nederland (elf versus zes procent) en de arbeidsproductiviteit, de investeringen in kapitaalgoederen, het innovatieaandeel en de bijdrage aan de export zijn bovengemiddeld. “Het streven is om de industrie competitiever te maken door sneller en beter benutten van de mogelijkheden die ICT biedt. En dat doen we niet alleen voor het bedrijfsleven zelf. Een sterke en vernieuwende industrie levert groei op en banen. Dat is het hogere doel.”⁷⁰

Een initiatief van geheel andere orde is de quantumcomputer. Hieraan wordt gewerkt binnen het Kavli Instituut van de faculteit technische natuurwetenschappen van de TU Delft door een onderzoeksgroep die zich richt op *quantum nanoscience*. Het gaat hier om fundamenteel en risicovol onderzoek met een op de lange termijn mogelijk revolutionaire

⁶⁹ Aldus FME et al. (2014) Actieagenda Smart Industry – Dutch industry fit for the future.

⁷⁰ Ibidem.

betekenis voor de verdere ontwikkeling van computers. Het ministerie van EZ heeft hiervoor middelen beschikbaar gesteld vanwege het mogelijk economisch belang. Op dit moment investeert het ministerie *ad hoc* in dergelijke uit het veld opkomende, mogelijk kansrijke ontwikkelingen. Vooralsnog is er geen beleidskader waarbinnen deze zaken passen en geen gestroomlijnde systematiek om dit soort ontwikkelingen te signaleren, te wegen en te beoordelen.

Terugkijkend op de ontwikkelingen in het ICT-beleid van de afgelopen decennia (zie kadertekst hieronder) valt op dat de overheid vanaf de jaren tachtig van de vorige eeuw geïnvesteerd heeft in de ontwikkeling en de adoptie van ICT. De afgelopen jaren is het accent in het economisch beleid vooral komen te liggen op sleutelgebieden en topsectoren en is het ICT-beleid wat op de achtergrond geraakt. Almaar meer werd tegen ICT aangekeken als ware het een vanzelfsprekende *commodity* waarin bedrijven kunnen voorzien en die op internationale markten te koop is. Vanuit de overheid werd steeds minder de behoefte gevoeld om een strategische visie op ICT te ontwikkelen en er een samenhangend beleid op te voeren. Diverse departementen volgden hun eigen agenda's en afstemming tussen departementen en organisaties als NWO, STW, ZonMw en de voorgangers van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland kwam moeizaam van de grond. Binnen het economisch beleid werd ICT een innovatie-as die achtereenvolgens de sleutelgebieden en de topsectoren dwars doorsneed. Dit gebrek aan aandacht, visie en strategie, in combinatie met bezuinigingsdruk in tijden van crisis, leidde tot een stapsgewijze beknotting van middelen om gericht in ICT te investeren. Een poging om via ICTRegie meer afstemming en regie in het drukke ICT-veld te brengen heeft niet opgeleverd wat gehoopt was en is na een paar jaren gestaakt. Het kader voor het huidige ICT-beleid is de Digitale Agenda. Hierin ligt het accent op implementatie, standaardisatie, opschaling en exploitatie van wat aan technologie reeds beschikbaar is. Daarbij wordt vooral ingezet op randvoorwaarden en ruimte scheppen voor ondernemers om met ICT efficiëntiewinst te boeken en nieuwe producten te ontwikkelen.

De ondernemende overheid: een korte geschiedenis van publieke investeringen in ICT

In de jaren tachtig is ICT ongetwijfeld de technologie die de meeste beloftes voor de nabije toekomst in zich draagt. De eerste glasvezelkabels worden ingegraven, de markt voor pc's staat nog in de kinderschoenen en het internet moet nog worden uitgerold. In die jaren zijn de kaarten nog niet geschud en is bijvoorbeeld Philips nog in de race om in de computerindustrie een speler van wereldformaat te worden.

Tegen die achtergrond sturen in 1984 de ministers van OCW, EZ en LNV het Informatica Stimuleringsplan (INSP) naar het parlement. In dit stimuleringsplan doen ze plannen uit de doeken om de informatisering van onderwijs, onderzoek

en marktsector te stimuleren. In de jaren die daarop volgen, zien talloze regelingen op het gebied van ICT het licht. Veel van deze regelingen zijn bedoeld om ICT-ontwikkelingen op gang te brengen binnen het bedrijfsleven en de overheid. Aanvankelijk zijn ze vooral bedoeld om basisinformatie te verschaffen over toepassingsmogelijkheden van deze nieuwe technologie, en vervolgens om de ontwikkeling van ICT-toepassingen in het bedrijfsleven te ondersteunen, niet alleen technisch, maar ook organisatorisch.

In 1994 worden diverse regelingen uit eerdere jaren gebundeld in het overkoepelende Besluit Informatietechnologie (IT), dat uit diverse programma's bestaat om perspectiefvolle IT-projecten in de publieke kennisinfrastructuur en het bedrijfsleven te stimuleren, kennisuitwisseling tussen onderzoekers en bedrijven te bevorderen, en technische, juridische en organisatorische afspraken te realiseren ten behoeve van een geavanceerde telematica-infrastructuur. Naast de bovengenoemde regelingen zijn er nog tal van andere actieprogramma's voor de stimulering van de informatietechnologie, waaronder het Nationaal Actieplan Elektronische Snelwegen (NAP) van eind 1994, het Software Actieplan (SWAP 2000) van 1996, het Demonstratieprogramma Informatietechnologie in Nederland (DIIN) en het Demonstratieprogramma Organisatievermogen en IT (DO-IT).⁷¹

In de jaren negentig komen uit het FES middelen ter beschikking voor de ICT-infrastructuur voor de kennisinstellingen. Uit de FES-middelen ontvangen drie opeenvolgende Gigaport-initiatieven vanaf 1999 voor drie perioden van vijf jaar respectievelijk 65, 40 en 32 miljoen euro. Hiermee is SURF in staat om diverse keren een nieuwe generatie voorzieningen in SURFnet te implementeren. FES-middelen zijn incidentele middelen met een beperkte tijdshorizon. Het is momenteel onduidelijk uit welke budgetten toekomstige *upgrades* van SURFnet gefinancierd kunnen worden.⁷²

In 2004 richten de ministeries van EZ en OCW samen met NWO ICTRegie op, het Nationaal Regieorgaan voor ICT-onderzoek en -innovatie. ICTRegie wordt in het leven geroepen om meer eenheid en consistentie te brengen in de strategische aansturing van het Nederlandse ICT-onderzoek. Daar komt het nauwelijks van. De evaluatie van ICTRegie uit 2010 constateert dat allerlei beleidsvisies die in die periode door ICTRegie, ministeries, NWO en andere organisaties in het ICT-veld zijn opgesteld welhaast in *splendid isolation* tot stand gekomen lijken te zijn.⁷³ Ook

⁷¹ Zie Diederer (2013) Ervaringen met bedrijvenbeleid.

⁷² Zie Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (2015) Uitvoering motie Van Meenen / Vos over SURF, over de voorgenomen financiering tot en met 2019.

⁷³ Technopolis en Dialogic (2010) Evaluatie ICTRegie – Eindrapportage.

andere doelstellingen van het regieorgaan, waaronder het structureel versterken en vernieuwen van het ICT-onderzoek en het snel valoriseren van ICT-onderzoeksresultaten, worden onvoldoende gerealiseerd. Na 2010 wordt het regieorgaan niet gecontinueerd. Oorzaken voor de tegenvallende resultaten liggen mede in het ontbreken van noodzakelijke voorwaarden voor succes: voldoende en eensgezinde steun van de oprichters en andere partijen in het veld, voldoende prioriteit van ICT-onderzoek en -innovatie in het politieke en maatschappelijke debat, en toereikende financiële middelen in handen van ICTRegie om in onderzoek en innovatie te investeren.

Mede op initiatief van ICTRegie wordt het PPS-programma COMMIT/ opgezet, waarbinnen academische onderzoekers en commerciële en niet-commerciële veldpartijen samen oplossingen voor concrete uitdagingen ontwikkelen op basis van de nieuwste ICT, veelal met *big data*. COMMIT/ krijgt in 2010 als een van de laatste programma's een bedrag van vijftig miljoen euro uit het FES voor een looptijd van zes jaar. Tien universiteiten, vijf onderzoeksinstituten en meer dan zestig grote en kleine private partijen participeren in het programma en leggen hier nog eens zestig miljoen euro bij.⁷⁴

Naast het op onderzoek en innovatie gerichte ICT-beleid is er het meer algemene, op gebruik en opschaling van ICT gerichte beleid. Dit heeft in 2011 vorm gekregen in de Digitale Agenda. Het ministerie van Economische Zaken investeert hierin jaarlijks ongeveer 18 miljoen euro.⁷⁵ De Digitale Agenda heeft tot doel het concurrentievermogen van Nederland te versterken. Hierbij staan ondernemers en hun klanten centraal. De overheid schept voorwaarden in het ICT-veld die bedoeld zijn om ondernemers meer ruimte te bieden om te ondernemen en te innoveren. Dat gebeurt door contacten met de overheid omwille van bijvoorbeeld vergunningen, subsidies en toezicht zo veel mogelijk te digitaliseren en daarmee de regeldruk te verminderen, door bedrijven recht te geven op elektronisch zakendoen, open standaarden te bevorderen, randvoorwaarden voor *cloud computing* te regelen, overheidsdata zoveel mogelijk open ter beschikking te stellen, en bij te dragen aan de *single digital market* in Europa.⁷⁶ De overheid ondersteunt dit alles door marktpartijen te faciliteren die zorgen voor een snelle, open en vrije (netneutrale) digitale infrastructuur voor iedereen, door bij te dragen aan de bescherming van veiligheid en privacy op het internet en door ontwikkeling en brede verspreiding van digitale vaardigheden te bevorderen.

⁷⁴ Zie www.commit-nl.nl voor 59 voorbeelden van projecten: COMMIT (2014) The big future of data – Golden demo's of COMMIT/.

⁷⁵ Zie Ministerie van Economische Zaken (2014) Rijksbegroting 2015, pp. 71 en 77-78.

⁷⁶ Zie Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (2011) Digitale Agenda.nl – ICT voor innovatie en economische groei. Zie voor open overheidsdata: <https://data.overheid.nl/>.

Daarnaast werkt het kabinet binnen de ICT *Roadmap* samen met de wetenschap en bedrijven aan het ontwikkelen van nieuwe technologieën en heeft de overheid een negental ICT-doorbraakprojecten geïnitieerd, gericht op het opschalen van ICT-toepassingen in een aantal topsectoren, de zorg en het onderwijs.⁷⁷ In deze projecten moeten publieke en private partners kansen en belemmeringen inventariseren, projecten selecteren en realiseren, en zorgen voor opschaling van beproefde aanpakken naar ketens en sectoren. De negen doorbraakprojecten zijn: MKB Innoveert, Open Geodata, Massaal Digitaal, Neutraal Logistiek Informatie Platform (NLIP), Ondernemingsdossier, Zorg ontzorgd door ICT, Onderwijs & ICT, Energie & ICT en *Big Data*.⁷⁸

⁷⁷ Zie Ministerie van Economische Zaken (2013) Doorbraken met ICT – het benutten van de economische kansen van ICT; Ministerie van Economische Zaken (2013) Kabinetsplan aanpak administratieve lasten.

⁷⁸ Zie www.doorbraakprojectenmetict.nl.

De impact van ICT op productie en allocatie

ICT-gedreven technologische ontwikkeling heeft een grote impact op de structuur en het functioneren van de economie. Met de *structuur* van de Nederlandse economie bedoelen we het samenstel van economische activiteiten, meestal weergegeven als de sectorstructuur. Onder het *functioneren* verstaan we enerzijds het produceren van goederen en diensten, en daarmee het gebruik van productietechnologieën en het ontwikkelen van deze technologieën. Anderzijds verstaan we hieronder het ‘alloceren’ van goederen en diensten, dat wil zeggen, het verhandelen en distribueren, en daarmee het gebruik van technologieën waarmee we informatie zoeken en uitwisselen, plannen en contracteren, monitoren, en dergelijke.

De impact van ICT op de structuur en het functioneren van de economie komt langs twee kanalen tot stand, die in dit hoofdstuk en in het volgende achtereenvolgens aan de orde komen. In de eerste plaats is ICT een belangrijke drijvende kracht achter de veranderingen van de technologieën voor productie en allocatie. Voor wat betreft productie opent ICT mogelijkheden voor het maken van nieuwe goederen en diensten (productinnovaties) en verlaagt het productiekosten (procesinnovaties). Ten aanzien van allocatie opent het nieuwe transactiemogelijkheden en verlaagt het transactiekosten (eveneens vormen van productinnovatie en procesinnovatie). In de tweede plaats is ICT een belangrijke drijvende kracht achter de veranderingen in het innovatieproces zelf. Het gebruik van ICT leidt niet alleen tot een versnelling in het genereren van nieuwe kennis en daarmee van het innovatieproces. Het leidt ook tot een verandering van het karakter van kennisontwikkeling en innovatie. Deze nieuwe dynamiek in kennisproductie en innovatie leidt op zijn beurt weer tot een nieuwe dynamiek in de economie.

De container

Dit advies richt de blik op de economische impact van nieuwe technologie. Bepalend voor de economische impact is de organisatorische inbedding. Het is een misvatting dat de impact groter is naarmate technologieën ingewikkelder en geavanceerder zijn. Sommige technologieën die een enorme impact op onze economie en op ons dagelijks leven hebben, zoals de computer, zijn inderdaad complex. Maar af en toe komen nieuwe technologieën ter beschikking die een revolutionaire invloed hebben op ons leven, maar technologisch helemaal niet tot de verbeelding spreken. Voor het functioneren van onze samenleving is de betekenis van de wasautomaat wellicht

groter geweest dan die van het internet.⁷⁹ Een technologische innovatie die de globalisering van de economie enorm heeft bevorderd, is de zeecontainer – niet echt een technologisch hoogstandje.

“De container is uitgevonden door de Amerikaan Malcolm McLean in het midden van de vorige eeuw en de eerste standaardcontainer kwam in 1965 in Rotterdam aan. De kracht van de container is de standaardisering: iedere container heeft wereldwijd dezelfde eigenschappen, waardoor hij overal kan worden opgetild aan zijn hoeken. De kracht van de uitvinding is ook de eenvoud: een box met deuren aan de achterkant, van staal, goedkoop te produceren. De container is niet los te zien van een infrastructuur die op zijn standardeisen is afgestemd: schepen, kranen, aangepaste treinen, vrachtwagens, binnenvaartschepen en informatie- en communicatietechnologie. [...]

Het huidige globaliseringsmodel is gebaseerd op de container. De container heeft volgens het blad *The Economist* meer voor de groei van de wereldhandel gedaan dan alle handelsakkoorden in de afgelopen vijftig jaar. Door de container is een wereldwijde arbeidsdeling mogelijk geworden waardoor producten op de optimale locatie worden geproduceerd. Arbeidsintensieve producten op locaties met lage lonen, zoals textiel in Bangladesh of elektronica in China. Agrarische producten op locaties met de juiste mix aan klimatologische omstandigheden. [...] De container heeft deze globalisering mogelijk gemaakt doordat het op de container gebaseerde maritieme systeem dermate efficiënt werd dat transport over de wereld nauwelijks iets kost – vaak minder dan een procent van de waarde van het product.”⁸⁰

2.1 ICT en veranderingen in productie en allocatie: de bepalende aspecten

ICT en de daarop gebaseerde technologieën (met als sprekende voorbeeld het internet als distributiekanaal voor allerlei nieuwe producten en diensten, maar ook geavanceerde robotica, het *internet of things* en driedimensionaal drukken) hebben een transformerende invloed op de manier waarop onze economie functioneert. ICT is terug te vinden in een breed spectrum van sectoren en activiteiten, in allerlei machines, producten en diensten. Het is een *general purpose technology*, die gekarakteriseerd wordt door i) brede toepasbaarheid in de meeste sectoren van de economie, ii) een groot potentieel voor technologische verbetering, resulterend in grote kostenreducties en

⁷⁹ Aldus Chang (2011) 23 Things they don't tell you about capitalism, Thing 4. De wasautomaat is – samen met aanverwante innovaties die huishoudelijke arbeid hebben verlicht – een belangrijke factor geweest die de toetreding van vrouwen tot de arbeidsmarkt mogelijk heeft gemaakt.

⁸⁰ Aldus beschreven door Kuipers (2014) De container is de beste uitvinding van de laatste 100 jaar.

groeïende beschikbaarheid, en iii) complementariteit met andere innovaties, waardoor innovaties in ICT innovaties in andere domeinen uitlokken en *vice versa*.⁸¹ Voorbeelden van *general purpose technologies* uit het verleden zijn de stoommachine, opwekking en gebruik van elektromagnetische straling, de verbrandingsmotor, de elektromotor, en vervaardiging en gebruik van kunststoffen. Toepassingen van deze technologieën zijn er legio, varianten ervan idem.

Kenmerkend voor al deze *general purpose technologies* is dat ze hebben bijgedragen aan een enorme vergroting van het spectrum aan beschikbare producten en diensten. Dankzij deze technologieën wordt er tegenwoordig veel meer gemaakt en gedaan dan voorheen. Dit heeft substantieel bijgedragen aan de verhoging van welvaart en welzijn. Daarnaast hebben deze technologieën geleid tot grote besparingen in de behoefte aan arbeid en een forse stijging van de arbeidsproductiviteit.

Wanneer heeft technologische verandering impact?

Technologische verandering mag dan soms met grote, radicale stappen lijken te gaan, het potentieel aan productiviteitswinst wordt doorgaans pas op lange termijn gerealiseerd. Dat is niet alleen het gevolg van een geleidelijke diffusie van de nieuwe technologie door het economisch systeem (sommige ondernemers voeren nieuwe technologie eerder in dan andere). Het is ook en vooral gelegen aan het feit dat het exploreren en exploiteren van nieuwe gebruiksmogelijkheden een tijdsintensief zoekproces is. Toen elektromotoren stoomturbines begonnen te vervangen, werden in bestaande fabriekscomplexen ketelhuizen ontmanteld en grote elektrische generatoren geïnstalleerd. Deze werden aangesloten op de eindeloze krukassen en de leren riemen die de machines in de fabriekshallen destijds aandreven. Dit leverde een bescheiden productiviteitswinst op. Pas na verloop van tijd werd er een elektriciteitsnet ontwikkeld en aangelegd en werden elektromotoren in machines en handgereedschap ingebouwd. Dit maakte het mogelijk fabrieken geheel anders te organiseren – bijvoorbeeld met een lopende band. Het bracht ook de minimum efficiënte schaal van veel productieprocessen naar beneden. Pas toen men de nieuwe technologie op nieuwe manieren ging gebruiken en de organisatie van productieprocessen en de bijbehorende infrastructuur daaraan ging aanpassen, werden werkelijk grote productiviteitswinsten gerealiseerd.⁸²

Dergelijke processen van geleidelijke diffusie van een nieuwe technologie en gelijktijdige doorontwikkeling van de technologie en zijn gebruiksmogelijkheden zijn

⁸¹ Bresnahan en Trajtenberg (1995) General purpose technologies 'Engines of growth'?

⁸² Beschreven in Freeman en Soete (1987) Technical Change and Full Employment, en in David (1989) Computer and dynamo: the modern productivity paradox in a not-too-distant mirror. Zie ook Brynjolfsson en McAfee (2014) The second machine age – Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies, p. 91.

typerend voor sleuteltechnologieën. *Personal computers* waren aanvankelijk tekstverwerkingsmachines die in kantoorgebouwen in groten getale op secretariaten en typekamers werden geïnstalleerd. De impact was in het begin gering. De productiviteitseffecten van de computer zijn zo lang onzichtbaar geweest, dat dit verschijnsel een eigen naam heeft gekregen: de *Solow-paradox*, naar Robert Solow, die in 1987 schreef: “*You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics*”. Tegenwoordig hoor je hier niemand meer over: de computer heeft legio toepassingen gevonden, de arbeidsorganisatie is erop aangepast, de paradox heeft zich opgelost. Met de invoering en doorontwikkeling van andere sleuteltechnologieën – de verbrandingsmotor, staal, de zeecontainer, plastic, de halfgeleider, maar ook technologieën met minder brede toepassingen als het gebruik van elektromagnetische straling, ultrageluid, kunstmest – is het ook zo gegaan. Het potentieel van deze technologieën wordt pas ten volle gerealiseerd wanneer complementaire veranderingen als de ontwikkeling van benodigde infrastructuur en de aanpassing van organisatie modellen zijn doorgevoerd.

Ook ICT heeft het spectrum aan goederen en diensten substantieel uitgebreid en de arbeidsproductiviteit flink doen stijgen, net als de voorgaande *general purpose technologies*. De baten die ICT-gedreven technologie ons heeft gebracht in de vorm van een gestage stroom proces- en productinnovaties, zijn overvloedig. Deels komt dit tot uitdrukking in metingen van het BBP, maar voor een deel ook niet. Veel van de informatiegoederen die de nieuwe technologieën leveren, hebben immers geen prijs (denk bijvoorbeeld aan alle gratis toegankelijke digitale informatie, muziek, video's en apps die ons welzijn vergroten) en zijn daardoor niet zichtbaar in de gangbare statistieken. Maar in een aantal opzichten werkt ICT op een andere manier door op de manier waarop onze economie functioneert dan de *general purpose technologies* van eerdere perioden. Daarvan springen de volgende zes in het oog: i) ICT vervangt cognitieve routinewerk, ii) ICT reduceert transactiekosten, iii) ICT vergroot de kapitaalproductiviteit, iv) ICT reduceert de minimum efficiënte schaal van productie, v) informatieproducten zijn relatief duur in ontwikkeling en goedkoop in (re)productie, en vi) ICT levert nieuwe platformen en faciliteert modulaire productie. Hieronder worden deze zes karakteristieken van ICT in detail beschreven.

ICT vervangt cognitieve routinewerk

Technologische ontwikkeling is altijd een proces geweest waarbij machines menselijke arbeid overnamen. Dat betrof in het verleden voornamelijk fysieke arbeid. Apparaten waarin meestal krachtbronnen waren ingebouwd stelden mensen in staat meer werk te verzetten, grondstoffen tot producten te verwerken, goederen of zichzelf sneller te verplaatsen. Computers verwerken informatie. Daarmee zijn computers geschikt om cognitieve arbeid te vervangen. Dat lukt echter alleen voor zover die arbeid een routine-

matig karakter heeft en te vangen is in expliciete regels en procedures. Waar dat het geval is, neem bijvoorbeeld het werk van een boekhouder, zijn computers vele malen sneller en nauwkeuriger dan het menselijk brein. Maar er zijn grenzen aan wat computers kunnen: ze begrijpen niks en improviseren niet.

Arbeid en automatisering

Arbeid omvat een reeks van taken die in vijf groepen te classificeren zijn:⁸³

- a) Het oplossen van ongestructureerde problemen, bijvoorbeeld een dokter die een diagnose stelt aan de hand van zeldzame symptomen, een monteur die een gebrek aan een auto repareert dat niet in het handboek staat, een kok die met nieuwe ingrediënten een smakelijk gerecht ontwikkelt.
- b) Het werken met nieuwe informatie, bijvoorbeeld een manager die medewerkers motiveert, een docent die een onderwerp verheldert.
- c) Het uitvoeren van cognitieve routinetaken, zoals het registreren van gegevens.
- d) Het uitvoeren van handmatige routinetaken, zoals assemblagewerk.
- e) Het uitvoeren van non-routinematige handmatige taken, waaronder schoonmaakwerk, beveiligingstaken en zorgtaken.

Taken in de eerste en tweede categorie zijn niet goed door computers over te nemen, maar die in de derde categorie bij uitstek wel. Ook taken in de vierde en tot op zekere hoogte de vijfde categorie worden steeds meer geautomatiseerd. Per saldo stijgt het aandeel van de arbeid dat draait om het oplossen van ongestructureerde problemen en het omgaan met nieuwe informatie en daalt het aandeel van de rest. Dat is een belangrijke verschuiving op de arbeidsmarkt. Arbeid in de vorige eeuw bestond voor veel werknemers uit het opvolgen van instructies. Het opvolgen van instructies was in veel gevallen een *shortcut*, een manier om een taak te volbrengen zonder veel kennis van onderliggende processen of technieken. Maar werk dat bestaat uit het opvolgen van instructies wordt tegenwoordig veelal door computers gedaan.

Ons onderwijssysteem is voor een belangrijk deel erop gericht om mensen de kennis en vaardigheden bij te brengen die nodig zijn om taken van de derde, de vierde en de vijfde categorie te verrichten. De daarvoor vereiste leesvaardigheid was veelal de vaardigheid om instructies te kunnen begrijpen en opvolgen. Tegenwoordig is de relevante leesvaardigheid iets dat veel ingewikkelder is. Kunnen lezen betekent wijs kunnen worden uit een overvloed aan geschreven informatie, daarbinnen kunnen zoeken en daaruit kunnen selecteren, kunnen combineren en interpreteren. Iets dergelijks geldt ook voor rekenvaardigheid, uitdrukkingsvaardigheid, redeneer-vaardigheid, en dergelijke. De basisvaardigheden die noodzakelijk zijn om op de

⁸³ Gebaseerd op Levy en Murmane (2013) *Dancing with robots – Human skills for computerized work*.

arbeidsmarkt mee te kunnen, liggen tegenwoordig op een hoger niveau dan een generatie geleden. Dat stelt nieuwe eisen aan het onderwijssysteem. Het vraagt van docenten dat ze traditionele onderwerpen op een nieuwe manier doceren, met meer nadruk op conceptuele en analytische vaardigheden en op het vermogen problemen op te lossen, zogenaamde *21st century skills*.

ICT reduceert transactiekosten

Vroegere sleuteltechnologieën leidden tot een enorme reductie in productiekosten. Het produceren met motoren en machines is veel goedkoper dan het produceren op ambachtelijke wijze. Het gebruik van ICT leidt veeleer tot een geweldige reductie in transactiekosten. Informatie- en communicatietechnologie maakt dat het zoeken, het contracteren en het borgen van contracten veel sneller en goedkoper worden, dat markten transparanter worden en dat geïntegreerde mondiale markten mogelijk worden. Handelsketens worden korter, schakels vallen ertussenuit, handelsketens worden handelsnetwerken, administratieve functies vervallen of worden geautomatiseerd. Handelen wordt veel sneller en eenvoudiger, ook wanneer het over grote afstanden gaat.

Een direct gevolg daarvan is dat de internationale arbeidsverdeling verandert: internationale handel was vroeger vooral handel in producten – tegenwoordig is het steeds meer handel in taken. ICT-toepassingen maken het mogelijk productieprocessen op te knippen in stappen, die over de wereld verdeeld worden. Bedrijven in landen met een hoog loonpeil proberen zich te ontwikkelen tot ‘kop-staartbedrijven’, die de taken waarin de hoogste toegevoegde waarde wordt gerealiseerd zelf voor hun rekening nemen – ontwerp en ontwikkeling aan de kop van de keten en marketing en distributie aan de staart – en de rest uitbesteden naar landen waar loonkosten lager liggen.⁸⁴ Dalende transactiekosten hebben het, samen met liberalisering van kapitaalmarkten, gemakkelijker gemaakt voor kapitaalstromen om grenzen over te steken. Internationalisering van investeringen is sterk gestimuleerd door reducties in communicatiekosten.

Een ander gevolg van de reductie van transactiekosten is het verschijnsel dat huren (het aangaan van een langdurige handelsrelatie) aantrekkelijker wordt ten opzichte van kopen (het aangaan van een handelsrelatie die op één moment wordt afgewikkeld). Dalende transactiekosten maken betalen voor gebruik aantrekkelijker dan betalen voor eigendom. De overgang naar een ‘economie van het delen’ (bijvoorbeeld van auto’s en fietsen, maar ook van zoiets als appartementen voor vakantie; zie het succes van Uber en van Airbnb,

⁸⁴ Zie WRR (2013) Naar een lerende economie, hoofdstuk 5.2. Een voorbeeld waarmee de WRR dit illustreert, is de manier waarop Apple de productie van de iPhone en de iPad opdeelt: “In de Verenigde Staten zijn 43.000 werknemers bij Apple in dienst, terwijl in Azië en Europa zo’n 700.000 mensen in haar productieketens werken. Ruim 600 van de 748 bedrijven die aan de totstandkoming van producten van Apple bijdragen, bevinden zich in Azië, waarvan meer dan de helft op het vasteland van China. Europa is goed voor 41 toeleveranciers, in Nederland doen DSM, NXP Semiconductors en Intel mee (Apple 2013).”

maar ook van Greenwheels) – die meestal wordt geduid als een culturele ontwikkeling – is in feite gebaseerd op veranderende kostenverhoudingen die een technologische basis hebben.

ICT vergroot de kapitaalproductiviteit

De technologische vooruitgang van de negentiende en twintigste eeuw was voor een groot deel een proces waarbij arbeid werd vervangen door kapitaal. Arbeiders en ambachtslieden verdwenen en machines kwamen ervoor in de plaats. Machines werden steeds groter en duurder en de kapitaalsinvesterings stegen, maar dat werd meer dan goedgemaakt door dalende loonkosten. Automatisering ging steeds verder, almaar minder mensen waren nog nodig om industriële complexen draaiende te houden en productie werd steeds kapitaalintensiever. De toename in de kapitaalintensiteit zorgde ervoor dat de kapitaalproductiviteit niet dramatisch toenam en wellicht zelfs daalde.

De ontwikkeling van ICT heeft de kapitaalproductiviteit een sterke impuls gegeven. ICT-gedreven technologische ontwikkeling is kapitaalbesparend. Productiemiddelen die daarop gebaseerd zijn, zijn in de loop der jaren dramatisch goedkoper geworden. Dit houdt verband met de voortgaande miniaturisering van ICT en de wet van Moore. Een computer die een generatie geleden een ruimtebeslag had ter grootte van een huiskamer, past tegenwoordig in een binnenzak. De kosten zijn in lijn daarmee gedaald en de kapitaalproductiviteit is navenant gestegen. Dit leidt *ceteris paribus* tot een toename van het rendement op kapitaal en een vergroting van het aandeel van kapitaal in het nationaal inkomen.⁸⁵

ICT reduceert de minimum efficiënte schaal van productie

De inzet van sleuteltechnologieën die economische ontwikkeling in het verleden voortstuwden, leidden tot enorme schaalvoordelen. Grootschalige productie van homogene goederen was efficiënte productie.⁸⁶ Grote bedrijven boden werk aan tienduizenden mensen in gigantische gewelfde gebouwen met hoge bakstenen schoorstenen. De lopende band was het archetypische organisatie-model voor industriële productie. Een hiërarchische structuur van lijn- en stafafdelingen, vele lagen van managers, functionarissen en ondergeschikten, en strakke procedures en gezagsverhoudingen bleek de meest efficiënte vorm van bedrijfsorganisatie te zijn: de machinebureaucratie.

Het gebruik van ICT heeft dit alles veranderd. Productieprocessen werden veel flexibeler, efficiënte productie-eenheden veel kleinschaliger. Plots werd het doelmatig produceren

⁸⁵ Deze constatering spoort met de data in Piketty (2014) *Capital in the 21st century*, maar ook met die in bijvoorbeeld Krugman (2012) *Rise of the Robots*.

⁸⁶ Iconisch is de uitspraak van Ford, gevraagd naar de kleuren waarin de Ford T verkrijgbaar was: “*You can have any color you want, as long as it’s black.*”

van heterogene goederen en diensten mogelijk, aangepast aan individuele behoeften. Dat geldt tegenwoordig niet alleen voor productie van vele industriële goederen, maar ook voor bijvoorbeeld energieopwekking, voor bankieren, voor het uitgeven van boeken en het maken en uitzenden van radio- en televisieprogramma's.

Het organisatiemodel van de hiërarchische georganiseerde megabedrijven van weleer is daarmee langzaam aan zijn dominante positie binnen de economie verloren. Grote bedrijven hebben zich getransformeerd in veel plattere organisaties en groepen van min of meer autonome *business units*. Veel kleine bedrijven zien kans om zich een plaats op de markt te verwerven naast het grootbedrijf en een eigen niche te exploiteren. Deze trend naar efficiënte kleinschaligheid gaat verder. Met zonnecellen op het dak, 3D-printing in de schuur en groentekweek op substraat met LED-verlichting in de kelder wordt productie steeds kleinschaliger en komt het steeds dichterbij huis.

Informatieproducten zijn relatief duur in ontwikkeling en goedkoop in (re)productie

De producten die gemaakt werden met de sleuteltechnologieën van vroeger waren naar verhouding goedkoop in de ontwikkeling en duur in de productie. Neem voedsel, kleding, huizen, auto's: de kosten van de meeste traditionele industriële producten zijn voor een klein deel R&D-kosten en voor een groot deel kosten van grondstoffen, energie, arbeid en kapitaal. Voor de producten en diensten die op basis van ICT worden gemaakt, geldt het omgekeerde. Deze zijn duur om te ontwikkelen en goedkoop om te reproduceren. Dit is eigen aan de aard van informatieproducten. Waardevolle informatie 'maken' vraagt veel inspanningen en investeringen – of het nou gaat om *apps* of om wetenschappelijke kennis, muziek, literatuur of film. Het reproduceren van informatieproducten is daarentegen een fluitje van een cent.

Dit feit heeft belangrijke economische consequenties. Markten krijgen er een *winner-takes-all* karakter door. Wie iets het eerst ontwikkeld heeft, rolt het vervolgens tegen lage kosten over een hele markt uit. Marktomvang wordt nog veel belangrijker dan het al was. Nagenoeg kostenloze reproductie impliceert immers dat de totale kosten van productie om een grote markt te voorzien slechts marginaal hoger zijn dan de kosten om een kleine markt te voorzien. Per product zijn de kosten in een grote markt dus aanzienlijk lager dan die in een kleine markt. Dit is een van de verklaringen waarom Google en Facebook Amerikaanse bedrijven zijn en waarom de Amerikaanse film- en muziekindustrie dominant zijn in de wereld. Daar staat tegenover dat ICT ook de mogelijkheid biedt om nicheproducten wereldwijd te distribueren. Al krijgen markten een *winner-takes-all* karakter, er ontstaan wel veel meer markten.

ICT levert nieuwe platformen en faciliteert modulaire productie

Technologieën hebben een economische impact als ze passen binnen een systeem van productie en consumptie. Dat maakt dat ze doorgaans afhankelijk zijn van allerlei vormen

van standaardisatie (van maatvoering, van netspanning, van snelheden, en dergelijke). Het gebruik van sleuteltechnologieën steunt verder vaak op de beschikbaarheid van een fysieke infrastructuur. Transportmiddelen aangedreven met stoom maakten gebruik van spoorbanen en waterwegen. Autovervoer vroeg om verharde wegen, tankstations en garages. Voor elektrische machines en apparaten zijn elektriciteitscentrales, hoogspanningsnetten en verdeelstations aangelegd. Deze infrastructuur had tot dusverre doorgaans het karakter van een publiek goed en werd aangelegd en onderhouden door overheden of publieke nutsbedrijven.

Op ICT gebaseerde technologie leidt tot meer ‘vernetwerking’ van voorheen van elkaar losstaande economische systemen. Voorheen regionale en nationale economische structuren integreren in een mondiaal economisch en financieel systeem. Dit wordt gefaciliteerd door communicatietechnologie: het internet, internetplatforms, digitale markten. Het heeft zijn fysieke pendant in chips en servers die dankzij standaardprotocollen met elkaar kunnen communiceren via een fijnmazig netwerk van koperdraad en glasvezelkabels. Op basis van een gestandaardiseerde infrastructuur van servers en kabels worden door talloze bedrijven toepassingen ontwikkeld, al dan niet samen met concurrenten en/of consumenten. Nieuw is dat de standaarden en de infrastructuur voor deze technologie overwegend in private, meestal buitenlandse handen zijn. Een voorbeeld van een gestandaardiseerde infrastructuur is de iStore met al zijn procedures en regels. Er is één producent van de infrastructuur – Apple in dit geval – en er zijn talloze producenten van *apps* en muziekopnames die via dit platform worden verhandeld. Andere voorbeelden zijn Youtube en Flickr. Wie het platform produceert en onderhoudt en op die manier de standaarden zet, heeft een sterke economische machtspositie. Dit doen bedrijven als Apple en Google, maar ook firma’s als Monsanto, Elsevier en ASML. Zij zetten wereldwijde standaarden voor de platforms waarop andere, veelal kleine bedrijven hun producten baseren.⁸⁷

In de onderstaande tabel is een vergelijking opgenomen van de karakteristieken van sleuteltechnologieën uit voorgaande ‘lange golven’ met ICT als de *general purpose technology* die onze tijd kenmerkt.

⁸⁷ Zie over deze thematiek: Kreijveld (2014) De kracht van platformen – Nieuwe strategieën voor innoveren in een digitaliserende wereld.

Tabel 2 Karakteristieken van sleuteltechnologieën

Eerdere sleutel-technologieën	Economische consequentie	ICT als sleutel-technologie	Economische consequentie
Vervanging van fysieke arbeid		Vervanging van cognitieve arbeid	
Reductie in productiekosten	Hiërarchische machinebureaucratie	Reductie in transactiekosten	Netwerkvorming en marktintegratie
Kapitaalgebruikend		Kapitaalbesparend	
Schaalvergroting, standaardisatie	Concentratie van productie	Schaalverkleining, maatwerk	Fragmentatie van productie
Productie duur vergeleken met ontwikkeling	Fragmentatie van markten	Ontwikkeling duur vergeleken met productie	Concentratie van marktmacht
<i>Stand alone</i> technologieën		Technologische platforms	

2.2 ICT en veranderingen in productie en allocatie: de uitwerking

In deze paragraaf komt aan de orde hoe de hierboven beschreven ontwikkelingen invloed uitoefenen op specifieke aspecten van de economie: de werkgelegenheid, de inkomensverdeling, de sectorstructuur, de grensvervaging tussen industriële en dienstensectoren, internationalisering, de structuur van markten en de omvang van ondernemingen, en de verdienmodellen die bedrijven hanteren.

Werkgelegenheid

ICT-gedreven technologische ontwikkeling is arbeidsbesparend, net zoals technologische ontwikkeling in het verleden dat was. Automatisering en robotisering leiden tot verlies van arbeidsplaatsen. Echter, de snelheid waarmee arbeidsbesparende technologie zich momenteel ontwikkelt, wakkert de vrees aan dat het ontstaan van nieuwe banen dit niet kan bijhouden en er werkloosheid ontstaat. Keynes heeft hiervoor al in 1930 de term *technological unemployment* gemunt: “*This means unemployment due to our discovery*

*of means of economising the use of labour outrunning the pace at which we can find new uses for labour.*⁸⁸ Deze omschrijving geeft precies aan waar het op staat: technologische werkloosheid resulteert als het ontstaan van nieuwe behoeften die leiden tot nieuwe economische activiteiten en nieuwe werkgelegenheid het tempo van het verdwijnen van bestaande werkgelegenheid door snelle technologische verandering niet kan bijhouden.

Vooralsnog lijkt het ontstaan van structurele werkloosheid door technologische ontwikkeling in Nederland niet aan de orde te zijn.⁸⁹ Of dat in de komende jaren anders zal zijn, is een kwestie waarover de inschattingen uiteenlopen. Duidelijk is dat allerhande typen arbeid verdwijnen – wat ervoor terugkomt, en in welk tempo, is dat nog niet.⁹⁰ Om te zorgen dat technologische ontwikkeling niet tot structurele werkloosheid leidt, is het in een open economie als de Nederlandse enerzijds zaak te bevorderen dat bedrijven die nieuwe arbeidsplaatsen willen creëren dat in Nederland doen, en anderzijds dat mensen die uit oude banen komen over de kennis en vaardigheden beschikken die de nieuwe banen vragen. Uiteraard hangen die twee zaken nauw samen.

Technologische werkloosheid?

De vrees dat nieuwe technologie banen vernietigt, kent een lange geschiedenis. Bekend zijn de protesten van de Engelse textielwerkers, de *Luddites*, tegen de automatisering van de textielproductie.⁹¹ Minder bekend is dat in de Verenigde Staten president Johnson vanuit dezelfde *automation anxiety* in 1964 een *National Commission on Technology, Automation and Economic Progress* aan het werk heeft gezet om in kaart te brengen wat de werkgelegenheidseffecten van technologische vooruitgang waren. Hoewel de commissie uiteindelijk concludeerde dat automatisering geen bedreiging voor de werkgelegenheid zou vormen, beval ze wel aan maatregelen te nemen voor het geval de werkloosheid zou stijgen, waaronder een gegarandeerd minimuminkomen, banen in de publieke sector en investeringen in opleidingen. In onze tijd is *automation anxiety* weer terug, zoals bijvoorbeeld blijkt uit een enquête onder een grote groep vooraanstaande Amerikaanse economen. Zo'n 43 procent was het eens met de stelling dat 'informatietechnologie en automatisering centrale redenen zijn waarom mediane inkomens in de VS de afgelopen tien jaar gestagneerd hebben, ondanks toenames in de productiviteit.'⁹²

⁸⁸ Keynes (1930) *Economic Possibilities for our Grandchildren*.

⁸⁹ Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (2014) *Effect van technologische ontwikkelingen op de arbeidsmarkt*.

⁹⁰ Het rapport van het Rathenau Instituut (2015) *Werken aan de robotsamenleving*, geeft een overzicht van de relevante wetenschappelijke inzichten en de onzekerheden.

⁹¹ De zorgen van de *Luddites* voor hun eigen baan waren uiteraard terecht. De discussie onder economen gaat niet over de vraag of er arbeidsplaatsen verloren gaan, maar of er genoeg nieuwe banen bijkomen om verloren banen te vervangen.

⁹² Zie Autor (2014) *Polanyi's paradox and the shape of employment growth*. Het geraadpleegde panel bestond uit '*senior faculty at the most elite research universities in the United States*'.

Ook in ons land wisselt men van gedachten over technologische werkloosheid, onder andere in het parlement. Zo antwoordde minister Kamp op een vraag van Kamerlid Van Ojik over de mogelijkheid dat er in te toekomst ten gevolge van technologische vooruitgang minder banen beschikbaar zullen zijn aldus: “[...] dat toen de mechanisering kwam, er de angst was dat allerlei werk zou verdwijnen. Maar nee, er kwam ander werk. Toen de elektrificering kwam, kwam er weer ander werk. Toen kwam de automatisering en wij hadden nog steeds werk, maar ander werk. Nu is er de automatisering waardoor allerlei processen vanzelf gaan spelen. Een klant doet via een computer een bestelling bij een leverancier en, zonder dat er een mens aan te pas komt, wordt er een productieproces in gang gezet en wordt het product geleverd. Dat is nu gaande. Wij kunnen dan zeggen dat er banen verdwijnen, maar de heer Van Ojik zal zien dat het in al die jaren zo is geweest dat je in een nieuwe situatie weer nieuwe banen, andere accenten en nieuwe mogelijkheden krijgt.”⁹³

Het is geen uitgemaakte zaak dat nieuwe banen snel genoeg ontstaan om het verdwijnen van oude banen te compenseren. Robotisering kan in beginsel op den duur leiden tot een economiebrede structurele reductie in de behoefte aan arbeid.⁹⁴ Nieuwe banen ontstaan als er nieuwe behoeften te bevredigen zijn, bij mensen die kapitaalkrchtig genoeg zijn om nieuwe producten en diensten te betalen. Het is mogelijk dat er een zekere verzadiging optreedt en het ontstaan van nieuwe behoeften en daarmee van nieuwe markten afzwakt. Het is tevens mogelijk – en wellicht nog iets waarschijnlijker – dat de inkomensverdeling ten gevolge van automatisering en robotisering zich zodanig ontwikkelt dat de effectieve vraag naar goederen en diensten onvoldoende is om voor volledige werkgelegenheid te zorgen. Zoals we hebben gezien, resulteert de huidige technologische ontwikkeling in een verhoging van de kapitaalproductiviteit. Dit leidt tot een verschuiving van de verdeling van het nationaal inkomen ten nadele van arbeidsinkomens en ten voordele van kapitaalinkomens (een daling van de arbeidsinkomensquote), en daarmee tot een vergroting van de inkomensongelijkheid. Een dergelijk schever worden van de inkomensverdeling verandert de aard van de bestedingen en kan gemakkelijk leiden tot onderbesteding, waardoor werkloosheid een structureel fenomeen wordt.⁹⁵ Komt een dergelijk scenario in zicht, dan worden nieuwe vormen van inkomenspolitiek, bijvoorbeeld invoering van een basisinkomen, het overwegen waard. Dit advies richt zich op het maximaliseren van de kansen dat technologische ontwikkeling gepaard gaat met meer en betere werkgelegenheid, maar pleit ervoor de ogen niet te sluiten voor de mogelijkheid dat de vraag naar arbeid structureel tekort schiet.

⁹³ Debat in de Tweede Kamer over het WRR-rapport 'Naar een lerende economie' op 24 juni 2014. Een rapport dat eveneens sceptisch is over het dalen van de werkgelegenheid ten gevolge van technologische ontwikkeling is European Strategy and Policy Analysis System (2013) The global economy in 2030: trends and strategies for Europe; zie hoofdstuk 5.

⁹⁴ Zie Nesta (2014) Our work here is done – Visions of a robot economy; Frey en Osborne (2013) The future of unemployment: how susceptible are jobs to computerisation?.

⁹⁵ Zie ook Went (2014) Inkomensongelijkheid en groei.

Of er nu wel of geen werkloosheid ontstaat, het profiel van de werkgelegenheid verandert hoe dan ook onder invloed van de huidige technologische ontwikkeling. Dit is empirisch goed gedocumenteerd voor de Amerikaanse arbeidsmarkt, en ook voor Europa en voor Nederland zijn vergelijkbare ontwikkelingen in kaart gebracht.⁹⁶ Er valt een geleidelijke tweedeling op de arbeidsmarkt waar te nemen, waarbij de groei van het aantal banen zich concentreert aan de onderkant (persoonlijke verzorgers, schoonmakers, bewakers) en aan de bovenkant (technici, professionals, managers), terwijl de werkgelegenheid in het midden afneemt. Deze baanpolarisatie is het resultaat van substitutie van arbeidskrachten door computers en gerelateerde technologie.⁹⁷ Deze substitutie concentreert zich in het middensegment van het vaardigheidenspectrum van de beroepsbevolking – het deel van de beroepsbevolking dat een groot deel van de middenklasse uitmaakt en dat een inkomen rond modaal verdient. Men spreekt dan ook van een *hollowing out of the middle class*. De beroepen waarbij het hier om gaat, worden gekenmerkt door routinematige arbeidstaken. Deze taken lenen zich voor computerisering. Routinetaken zijn karakteristiek voor veel beroepen van mensen met een opleiding op het middenniveau: geschoolde arbeiders, productiemedewerkers, administratieve krachten, verkopers. Dat betreft niet alleen ‘blauwe-boordenberoepen’ (productiearbeiders), maar ook ‘witte-boordenberoepen’ (kantoorpersoneel).

Technologische verandering is veruit de belangrijkste verklarende factor achter de verschuivingen in de vraag naar arbeid. Empirisch onderzoek wijst uit dat hoge investeringen in ICT samengaan met een stijgende vraag naar hoogopgeleiden en een dalende vraag naar gemiddeld opgeleiden.⁹⁸

Inkomensverdeling

ICT-gedreven technologische verandering heeft om diverse redenen gevolgen voor de inkomensverdeling.⁹⁹ In de eerste plaats stijgt de kapitaalproductiviteit en neemt daarmee het kapitaalinkomen toe. In de tweede plaats leidt de uitholling van het

⁹⁶ Acemoglu en Autor (2010) Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings. Zie ook Autor (2014) Polanyi's paradox and the shape of employment growth. Voor gegevens over Europa, zie Goos et al. (2014) Explaining job polarization: routine-based technological change and offshoring. Voor Nederland, zie Centraal Planbureau (2015) Baanpolarisatie in Nederland, Centraal Planbureau (2012) Loonongelijkheid in Nederland stijgt, Centraal Planbureau en Sociaal en Cultureel Planbureau (2015) De onderkant van de arbeidsmarkt in 2025, en Rathenau Instituut (2015) Werken aan de robotsamenleving.

⁹⁷ De ontwikkeling van de werkgelegenheid wordt niet alleen bepaald door *computerization* aan de vraagzijde van de arbeidsmarkt, maar ook door andere factoren, waaronder het opleidingsniveau van het arbeidsaanbod, de mondialisering van productieketens (*offshoring*), veranderingen in de positie van vakbonden, het minimumloon en het belastingbeleid. Deze laatste factoren blijken de afgelopen decennia echter een minder belangrijke rol te hebben gespeeld (Centraal Planbureau (2015) Baanpolarisatie in Nederland, p. 9, Centraal Planbureau (2012) Loonongelijkheid in Nederland stijgt, p. 11).

⁹⁸ Ibidem. De ICT-investeringen (gemeten als investeringen ten opzichte van toegevoegde waarde in de periode 1980-2004 in elf landen) correleren sterk negatief met de verandering in de loonsom van gemiddeld opgeleide werknemers, en sterk positief met veranderingen in de loonsom van hoogopgeleide werknemers.

⁹⁹ Een vraag waaraan we hier voorbijgaan, is in hoeverre de karakteristieken van sleuteltechnologieën invloed hebben op de verdeling en groei van vermogens. Het groeipercentage van vermogens lijkt in de loop van de afgelopen eeuwen opvallend constant te zijn geweest en structureel boven het groeipercentage van de economie als geheel te hebben gelegen (zie Piketty (2014) Capital in the 21st century). Het zou kunnen zijn dat de specifieke effecten van ICT op de economische structuur (bijvoorbeeld *winner-takes-all* markten) gereflecteerd worden in het patroon van vermogensaanwas.

middensegment van de arbeidsmarkt tot een tweedeling in arbeidsinkomens. Het verdwijnen van banen in het middensegment resulteert in verdringing van werknemers aan de onderkant van het spectrum door mensen uit dit middensegment die geen baan op hun eigen niveau meer kunnen vinden. De inkomens aan de bovenkant stijgen omdat technologie daar de arbeidsproductiviteit verhoogt, terwijl die in het midden en aan de onderkant dalen ten gevolge van verdringingseffecten. Deze verandering van de inkomensverdeling vindt plaats terwijl ten gevolge van diezelfde technologische vooruitgang de productiviteit van de economie als geheel, en dus het totale inkomen, stijgt. Er valt meer inkomen in het systeem te verdelen, maar dit komt vooral terecht bij de mensen die toch al een hoger inkomen genoten.¹⁰⁰ Dit generieke effect wordt nog versterkt doordat toepassing van digitale technologie in veel gevallen leidt tot markten met een *winner-takes-all* karakter. In een transparante markt waarin de marginale productiekosten van een product of dienst bijna nul zijn, kunnen kleine kwaliteitsverschillen leiden tot grote verschillen in omzet en marktaandeel – en dat kenmerkt een *winner-takes-all* markt. Onder deze omstandigheden komt een groot deel van de welvaartswinst terecht bij een kleine groep mensen.¹⁰¹

De verdeling van arbeidsinkomens in Nederland is naar internationale maatstaven tamelijk egalitair, maar de inkomensongelijkheid is de laatste jaren wel aan het stijgen.¹⁰² Kapitaalinkomen is in ons land relatief geconcentreerd.¹⁰³ Mensen die over kapitaal beschikken – zowel financieel als menselijk kapitaal – profiteren het meest. Inkomen uit kapitaal neemt sneller toe dan inkomen uit arbeid, en mensen met specifieke capaciteiten en vaardigheden zijn beter af.¹⁰⁴ Dat wordt nu al sinds een reeks van jaren in inkomensstatistieken weerspiegeld. De gemiddelde inkomensontwikkeling volgde decennialang de gemiddelde productiviteitsontwikkeling, maar de laatste jaren lopen ze uiteen. Middeninkomens blijven achter bij productiviteitsgroei en stijging van het nationaal inkomen. De spreiding in arbeidsinkomens neemt toe, ook in Nederland, zij het minder dan in de Verenigde Staten.¹⁰⁵ De verschillen in kapitaalinkomens zijn in Nederland altijd

¹⁰⁰ Zie bijvoorbeeld de gegevens in Piketty (2014) *Capital in the 21st century*, hoofdstuk 9.

¹⁰¹ Er komt dus een premie te liggen op het bereiken van de absolute top. 'Gewoon hoogopgeleid' zijn biedt geen garantie meer voor een bovengemiddeld inkomen. Grote inkomensverschillen zijn te vinden binnen de groep hoogopgeleiden. Zie hierover bijvoorbeeld Brown et al. (2011) *The Global Auction: The Broken Promises of Education, Jobs, and Incomes*.

¹⁰² Centraal Planbureau (2015) *Baanpolarisatie in Nederland*, Centraal Planbureau (2012) *Loonongelijkheid in Nederland* stijgt, zie pp. 7 en 9.

¹⁰³ Van Bavel (2014) *Vermogensongelijkheid in Nederland: de vergeten dimensie*, laat zien dat de rijkste 10 procent van de bevolking zo'n 61 procent van het totale vermogen in Nederland bezit. De top 2 procent binnen deze groep heeft zelfs een derde van dat vermogen in handen, terwijl de onderste 60 procent van de Nederlandse bevolking bij elkaar opgeteld 1 procent (afgerond) van het totale vermogen bezit. De middengroepen in Nederland hebben relatief weinig vermogen, en vooral het onderste deciel heeft schulden. In internationaal perspectief is de vermogensongelijkheid in Nederland aan de hoge kant.

¹⁰⁴ Piketty (2014) *Capital in the 21st century*, signaleert dat het de afgelopen eeuwen gebruikelijk was dat het rendement op kapitaal groter was dan de groei van het BBP. Het kapitaalinkomen steeg meestal sneller dan het inkomen uit arbeid. Een gelijk opgaan van beide (*the rising tide that lifts all boats*) was een uitzonderlijke ontwikkeling die opgeld deed in de drie decennia na de Tweede Wereldoorlog.

¹⁰⁵ In de Verenigde Staten is de waargenomen polarisatie in inkomens het sterkst. Kanttekeningen bij deze waarnemingen vanuit een Europees perspectief zijn te vinden in een kort artikel van Marin (2014) *Globalisation and the rise of the robots*.

al relatief groot geweest. Er zijn aanwijzingen dat te veel ongelijkheid in inkomens het groeivermogen van een economie ondergraaft.¹⁰⁶

De vraag naar capaciteiten: een race tussen opleiding en technologie

De huidige technologische verandering is niet alleen *capital augmenting* maar ook *skill-biased technological change*. Dit is technologische verandering die de vraag naar hoogopgeleide arbeidskrachten doet toenemen en de vraag naar laag- en middelbaar opgeleiden reduceert. Nieuwe technologie blijkt complementair aan de capaciteiten van hoogopgeleiden en substitueert die van laagopgeleiden. Eenvoudiger gezegd: hoogopgeleiden werken met computers, laagopgeleiden worden door computers vervangen.¹⁰⁷ Dit doet de vraag naar hoogopgeleiden stijgen en die naar laagopgeleiden dalen.

Wat dat voor de inkomensontwikkeling van de beide opleidingscategorieën betekent, hangt niet alleen van de vraagontwikkeling, maar ook van de verandering in het aanbod van hoog- en laagopgeleiden af. Wanneer de toename van de vraag naar hoogopgeleiden geen groter aanbod uitlokt, stijgen de inkomensverschillen tussen hoogopgeleiden en de rest. Wanneer daarentegen een stijging van de vraag naar hoogopgeleiden leidt tot een hogere onderwijsdeelname en daardoor tot een stijging van het aanbod, dan dempt dat de inkomensverschillen. Jan Tinbergen beschreef dit verschijnsel al in de jaren zeventig als een 'race tussen opleiding en technologie'. Of de onderwijsexpansie de technologische ontwikkeling kan bijhouden, bepaalt of het loon van hoogopgeleiden al dan niet stijgt. Tot in de jaren zeventig was het onderwijs aan de winnende hand in deze race en werden de loonverschillen kleiner. De laatste decennia zijn de loonverschillen aan de stijgende hand en dat wordt door sommigen gezien als een aanwijzing dat de technologie inmiddels de race van het onderwijs aan het winnen is.¹⁰⁸

Sectorstructuur

De sectorstructuur van een economie kent twee mechanismen om zich te ontwikkelen, die beide terug te voeren zijn op technologische ontwikkeling. Het ene mechanisme is meer toegevoegde waarde genereren door datgene wat je doet steeds beter te gaan doen – sectoren op een steeds hoger plan brengen. Nederland is al eeuwen sterk in landbouw en voedingsmiddelen, in alles dat met water van doen heeft (scheepsbouw, waterkering, et cetera) en in handel en logistiek. Ook de chemie en de financiële dienst

¹⁰⁶ Zie Stiglitz (2012) *The price of inequality*, Went (2014) *Inkomensongelijkheid en groei*.

¹⁰⁷ De Beer (2014) *Groeiende beloningsverschillen in Nederland*.

¹⁰⁸ *Ibidem*; zie ook Goldin en Katz (2008) *The race between education and technology*. Er zijn grenzen aan het niveau waartoe je een bevolking kunt opleiden: niet iedereen kan een academicus worden. Over de vraag of die grenzen al in zicht zijn, lopen de meningen uiteen.

verlening kennen in ons land een lange geschiedenis. De Nederlandse economie is door de jaren heen gegroeid door een enorme productiviteitsverbetering in deze sectoren tot stand te brengen, zodanig dat ze bijna onherkenbaar veranderd zijn.

Het andere mechanisme is nieuwe dingen met hogere toegevoegde waarde gaan doen – structurele verandering: oude sectoren afbouwen en nieuwe opbouwen. De Nederlandse economie heeft zich langs deze lijnen ontwikkeld en getransformeerd door creatieve destructie: de mijnbouw en de bulkchemie zijn afgebouwd, de fijnchemie is opgebouwd; de textiel-, de tabaks- en de gloeilampenindustrie zijn ontmanteld, de hightech is opgebouwd. Beide mechanismen zijn in het verleden belangrijk geweest. De sectoren waarin Nederland echt sterk is, kunnen bogen op een rijke historie. Maar Nederland is ook sterk geworden door niet aan het verleden vast te houden, nieuwe wegen in te slaan en nieuwe sectoren tot bloei te brengen.

Met de topsectorenaanpak zet Nederland vol in op het versterken van de economische activiteiten waarin het al een goede positie heeft opgebouwd. Een voorsprong moet onderhouden worden. Het is niettemin belangrijk dat het Nederlandse ondernemers- en innovatieklimaat ook uitnodigt tot het ontwikkelen van nieuwe activiteiten in nieuwe sectoren.

Passen innovatieve start-ups wel in onze (top)sectoren?

ICT drijft niet alleen vooruitgang binnen alle sectoren, maar stimuleert ook het ontstaan van start-ups die buiten de strakke structuur van Nederlandse (top)sectoren vallen. Dergelijke nieuwe bedrijven ontwikkelen hun eigen verdienmodel en kunnen klassieke sectoren behoorlijk door elkaar schudden. Twee bekende Amerikaanse voorbeelden zijn carpoolbedrijf Uber en accommodatiedeler Airbnb. Ook in Nederland worden dergelijke start-ups ontwikkeld met internationale potentie, zoals nieuwskiosk Blendle en leenplatform Peerby.

Blendle is een online nieuwsplatform waarop het mogelijk is om voor enkele tientallen centen losse artikelen aan te schaffen uit de belangrijkste Nederlandse kranten en tijdschriften. Van de opbrengst van elk verkocht artikel gaat 70 procent naar de uitgever en 30 procent naar Blendle. Het bedrijf hoort deels bij de mediasector en deels bij de ICT-sector, maar het bedient een totaal nieuwe markt van voornamelijk jongeren op sociale media. Op Blendle zijn inmiddels ook artikelen te vinden uit verschillende Belgische media en het toonaangevende tijdschrift The Economist. Na een buitenlandse investering van 3 miljoen euro komen daar binnenkort ook artikelen uit The New York Times en mogelijk Bild en Die Welt bij.

Peerby is een digitaal platform voor het lenen van spullen bij je burens. Gebruikers kunnen hier een oproep plaatsen als ze bijvoorbeeld een boor of een backpack nodig hebben, en ze krijgen een berichtje als er iemand in de buurt woont die hierin kan voorzien. Een verdienmodel voor deze dienst nog niet zo eenvoudig; Peerby verkoopt immers geen producten en ze kunnen geen geld vragen voor de gratis handel die ze faciliteren. Daarom gaat Peerby op maat gemaakte miniverzekeringen aanbieden aan de leners, zodat die niet bang hoeven te zijn dat zo voor hoge kosten komen te staan, mocht een geleend product het begeven. Eind 2014 staken buitenlandse investeerders 1,7 miljoen euro in het bedrijf. Hiermee wil Peerby zijn diensten uitrollen in de Verenigde Staten.

Omdat alle bouwstenen voor een ICT-gebaseerde start-up (codes, data, servercapaciteit, software) in feite tegen marginale kosten beschikbaar zijn, liggen hier kansen om innovatieve ideeën uit te proberen voor weinig geld. Vaak fungeren dat soort bedrijven als een virtuele marktplaats en bieden ze een dienst aan die neerkomt op het bijeenbrengen van vraag en aanbod. Ze profiteren mee van elke transactie die wordt gesloten of van inkomsten van advertenties. Andere Nederlandse voorbeelden hiervan naast Blendle en Peerby zijn in het B2C- en C2C-domein Booking.com (reizen), Thuisbezorgd.nl (eten), SnappCar (auto's) en Wijzelf Zorgcoöperaties (zorg).

Vervaging van het onderscheid industrie-diensten

ICT drijft vooruitgang in alle sectoren, niet alleen in de Nederlandse R&D-intensieve industrie, maar ook in de dienstensectoren. Innovatie in het bank- en verzekeringswezen, in de zakelijke dienstverlening, in de handel en het vastgoed, en niet te vergeten in het onderwijs, de zorg en de publieke dienstverlening zijn sterk afhankelijk van ICT.

De relatieve krimp van landbouw en industrie tot minder dan twintig procent van de Nederlandse werkgelegenheid en de groei van de private en publieke dienstverlening tot meer dan tachtig procent is voor een belangrijk deel mogelijk gemaakt door ICT. Die heeft in deze sectoren niet alleen gezorgd voor grote productiviteitsstijgingen (in het bankwezen, bij ingenieurs- en architectenbureaus, in de media, in de logistiek, in de zorg, en zelfs in de cultuursector), maar ook voor legio nieuwe diensten. Waar het faciliteren en stimuleren van R&D primair van belang is voor industriële (top)sectoren, is het op orde hebben en verder ontwikkelen van de ICT-capaciteit en -infrastructuur belangrijk voor *alle* bedrijfstakken, ook voor de sectoren die minder op het netvlies van het beleid staan bij de ontwikkeling van het innovatiebeleid.

Het is trouwens de vraag of het onderscheid tussen industriële en dienstensectoren niet zodanig achterhaald is, dat het daarmee contraproductief is geworden. De verschillen tussen industrie en diensten zijn aan het vervagen omdat de maakindustrie aan het 'verdiensden' is, terwijl tegelijkertijd de diensten 'verindustrialiseren'. De kernactiviteit van

industriële productie was het maken van fysieke producten. In de loop van de tijd zijn industriële producenten hieraan steeds meer diensten gaan koppelen.¹⁰⁹ Dat begon met onderhoudsdiensten, maar kwam pas echt op stoom met het ter beschikking komen van nieuwe ICT-toepassingen. Dat stelde de producent in staat het gebruik van goederen *real time* te monitoren en aan te passen aan de individuele behoeften van de gebruiker. Een alledaags voorbeeld is de nieuwe koffiemachine van Saeco (Philips), die software bevat waarmee koffie volledig kan worden afgestemd op iemands persoonlijke smaak en voorkeuren omdat het apparaat communiceert met een *app* op iemands telefoon. Veel industriële producenten hebben zich hiermee geleidelijk ontwikkeld van goederenleveranciers naar dienstenleveranciers. Goederen, waaronder industriële productiemiddelen en voertuigen, werden steeds meer geleased in plaats van verkocht. Capaciteit en adequaat functioneren werden door de leverancier gegarandeerd. De toegevoegde waarde kwam steeds meer te zitten in het softwareonderhoud en de diensten die via deze software werden geleverd. Iconisch voorbeeld is de *smartphone*. De waarde zit niet zozeer in het apparaat, als wel in de *apps* die ervoor beschikbaar zijn. Het verdienmodel van de producent drijft dan ook op de winstgevendheid van de software en de bijbehorende diensten, meer dan op de verkoop van hardware.

Niet alleen 'verdiens' de industrie, maar 'verindustrialiseren' ook de diensten. Waar automatisering zich in het verleden voornamelijk beperkte tot fysieke (industriële) productie, stelt ICT in staat om dienstverlening in steeds meer gevallen, net als productie van goederen, uit te assembleren modules op te bouwen en onderdelen ervan te automatiseren. De dienstverlening – althans delen daarvan – ondergaat daarmee eenzelfde soort ontwikkeling als de maakindustrie. Veel langer dan goederenproductie heeft dienstverlening een ambachtelijk karakter behouden. Bij diensten ging het altijd om *production to order*, in contact met de klant en toegesneden op diens behoeften. Op het ogenblik ondergaat veel dienstverlening een proces van automatisering: maatwerk wordt confectie. Dat gebeurt zelfs in het ziekenhuis, met productiestraten voor heupoperaties en oogbehandelingen. Het verindustrialiseren van dienstenproductie kenmerkt zich door: i) toename van de kapitaalintensiteit van dienstverlening: dienstverleners worden niet alleen ondersteund door computers, maar soms wordt de dienst zelfs geleverd door machines – denk aan informatiediensten, reserveringen, toegangsbewijzen, kaartjescontrole, betalingen, kredietverlening, verzekeringen, ii) standaardisatie van productiemethoden en producten (*digital Taylorism*), en iii) het opvoeren van productievolumes, bijvoorbeeld door wereldwijde verkopen via internet.

Het opvoeren van productievolumes heeft te maken met schaalvoordelen. Als je het softwareproduct om een dienst te verlenen eenmaal hebt ontwikkeld (bijvoorbeeld een website of een zoekmachine voor het internet), dan is de expansie van de

¹⁰⁹ Zie ook AWT (2012) Diensten waarderen.

dienstverlening met behulp van die software relatief goedkoop. In sommige gevallen komen daar nog netwerkvoordelen bij. Dat geldt voor sommige informatiediensten: het nut stijgt naarmate meer mensen er gebruik van maken (denk aan sociale media als Facebook, Skype, LinkedIn, et cetera).¹¹⁰ Dat betekent dat indien een markt voor een dergelijke dienst gecreëerd kan worden, deze gekenmerkt is door enorme schaalvoordelen. Concurrentie *op* een dergelijke markt verandert al gauw in concurrentie *om* de markt. Schaal- en netwerkvoordelen spelen niet alleen een rol bij diensten die via het internet geleverd kunnen worden, maar ook bijvoorbeeld in de logistieke dienstverlening: een uitgebreider netwerk met meer terminals en verbindingen levert meer flexibiliteit en lagere kosten op.

De organisatie van dienstenproductie gaat steeds meer lijken op die van industriële productie. In sommige gevallen knippen dienstenproducenten hun productie op in modules, net als industriële producenten dat doen, en organiseren ze deze productie in wereldomspannende ketens en netwerken om daarmee te profiteren van de kostenvoordelen die een gedistribueerde productie met zich meebrengt (denk aan de actuaire in India die Nederlandse verzekeringsaanvragen beoordeelt, de radioloog in Polen die onze MRI-scans analyseert of de studiecoach op de Filipijnen die onze kinderen met wiskunde helpt).

Een gevolg van dit alles is dat de concurrentiekracht van dienstenbedrijven meer dan in het verleden door ICT-technologie wordt bepaald. Zo heeft bijvoorbeeld een bedrijf als Walmart in de VS een heel sterke positie in de detailhandel kunnen opbouwen door slimmer, met ICT ondersteund voorraadbeheer. Ook in de logistieke dienstverlening komen de marges uit het slim toepassen van technologie. Op het fysiek verplaatsen van goederen kan nauwelijks verdiend worden. Vervoerders verdienen hun geld door logistieke systemen te optimaliseren (het slim combineren van vervoersmodaliteiten en -stromen en dergelijke – en dat is een aparte tak van wiskunde) en door daarnaast diensten om het vervoer heen aan te bieden: geconditioneerde opslag, administratieve verwerking, facturering, et cetera.

Internationalisering en Europese integratie

De Nederlandse economie is bij uitstek een open economie. Nederlandse productieketens zijn sterk internationaal geïntegreerd. Deze integratie kon alleen plaatsvinden doordat de daarvoor benodigde institutionele arrangementen tot stand zijn gebracht, waaronder de integratie van markten voor goederen, diensten, kapitaal en arbeid op Europees niveau. Verdere exploitatie van de mogelijkheden die ICT biedt, vraagt om verdere institutionele integratie. Een open economie, waarvan het functioneren gebaseerd is op gedeelde netwerken en platforms, is afhankelijk van allerhande

¹¹⁰ De waarde van een *social media* platform volgt de wet van Metcalfe, die gaat over de waarde van een netwerk voor telecommunicatie. De wet luidt: de waarde van een netwerk neemt kwadratisch toe met het aantal aangesloten apparaten.

instituties en infrastructuur, die alleen kan werken dankzij gedeelde protocollen, standaarden en interfaces.

Hierboven is al aan de orde gekomen dat een ICT-gedreven economie met naar verhouding hoge ontwikkelkosten en lage (re)productie- en distributiekosten tot gevolg kan hebben dat markten meer en meer beheerst worden door monopolistische aanbieders. Dat hoeven geen grote bedrijven te zijn, maar kunnen ook monopolisten in wereldomspannende nichemarkten zijn. Deze monopolistische aanbieders weten zich des te steviger te vestigen, naarmate ze een grotere thuismarkt hebben waarop ze hun ontwikkelkosten kunnen terugverdienen. Nederland biedt geen grote thuismarkt, vooral niet wanneer het om de afzet van diensten gaat.

Daarmee staan Nederlandse bedrijven op een zekere achterstand in vergelijking met bedrijven uit landen als het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, Frankrijk en vooral de Verenigde Staten. Het is dan ook niet vreemd dat veel nieuwe informatieproducten en -diensten op de Nederlandse markt uit de koker van Amerikaanse bedrijven en bedrijfjes komen. Om Nederlandse bedrijven een vergelijkbaar grote thuismarkt te bieden, is het van belang Europese regelgeving te harmoniseren. Maar wellicht nog belangrijker is om te komen tot gemeenschappelijke technologische standaarden en platforms, een geïntegreerde ICT-infrastructuur en gezamenlijke initiatieven om kwaliteit van data en software te borgen.¹¹¹

Dat een verdere integratie van Europese markten voor digitale diensten noodzakelijk is, wordt ook op Europees niveau erkend. Jean-Claude Juncker, voorzitter van de Europese Commissie, heeft de *digital single market* benoemd als een van de tien prioriteiten van de nieuwe Commissie.¹¹² Doel is om te komen tot harmonisatie van regels omtrent *data protection* en bescherming van de rechten van consumenten, hervorming van de regulering rond telecommunicatie, uniformering van het management van radio frequenties, modernisering van het auteursrecht in het licht van de digitale revolutie en het veranderende consumentengedrag, en vereenvoudiging van de regulering van handel via internet. Naar schatting kan een integratie van digitale markten in Europa 250 miljard euro aan extra economische groei genereren in de komende vijf jaar, honderden extra

¹¹¹ Zie ook Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (2011) Digitale Agenda.nl, p. 16: "Grensoverschrijdend elektronisch zakendoen komt niet tot stand vanwege onder andere een gebrek aan vertrouwen, twijfels over bescherming van persoonsgegevens en het ontbreken van systemen ter vaststellingen van de identiteit van bedrijven en hun klanten. Dit is een belangrijke reden waarom maar liefst 92 procent van de mensen die goederen of diensten via internet bestelt dit eerder bij een nationale leverancier doet dan bij een verkoper uit een ander land."

¹¹² Juncker (2014) A New Start for Europe: My Agenda for Jobs, Growth, Fairness and Democratic Change – Political Guidelines for the next European Commission.

banen opleveren, en een belangrijke bijdrage leveren aan de verdere ontwikkeling van de kennissamenleving.¹¹³

Om deze voornemens kracht bij te zetten, is een Digitale Agenda opgenomen in de *Europe 2020 strategy*. Het voornaamste doel van deze agenda is het ontwikkelen van een *digital single market* ten behoeve van 'slimme, duurzame en inclusieve groei in Europa.' De agenda omvat zeven pijlers, waaronder marktintegratie, bevordering van interoperabiliteit en gemeenschappelijke standaarden, versterking van veiligheid op het internet en bevorderen van snellere internettoegang voor iedereen.¹¹⁴

Onze ambitieuze burens

Duitsland gaat voor een digitale samenleving

Onze oosterburens hebben de ambitie om wereldwijd innovatieleider te worden. Hiertoe heeft de Duitse regering in 2014 de nieuwe *High-Tech Strategy* opgesteld. De kern van deze strategie is de integratie van sterke technologische ontwikkelingen met de belangrijkste behoeften in de maatschappij. Om dit te bereiken is het Duitse beleid gebouwd op vijf pijlers: i) uitdagingen voor waardecreatie en levenskwaliteit, ii) netwerken en samenwerking, iii) versterking van industriële innovatie, iv) gunstig innovatieklimaat, en v) transparantie en dialoog. Binnen de eerste pijler, uitdagingen voor waardecreatie en levenskwaliteit, vallen zes inhoudelijke thema's, namelijk: de digitale economie en samenleving, de duurzame economie en energie, innovatie en arbeid, gezond leven, intelligente mobiliteit, en veiligheid. De digitale economie en samenleving staat in deze lijst voorop en omvat *industry 4.0*, *smart services*, *smart data*, *cloud computing*, *digital networking*, *digital science*, *digital education* en *digital life environments*.

Duitsland zet volop in op de digitale economie en maatschappij, getuige ook de uitgebreide Digital Agenda 2014 – 2017. Zo heeft ICT een enorm scala aan veranderingen tot gevolg in de Duitse industrie, zoals de personalisering van producten, de integratie tussen klant en producent, een grote groei aan ICT-diensten (zowel in samenhang met producten als zelfstandig) en de opkomst van *big data* en cloudtechnologie. Om deze veranderingen optimaal te laten doorwerken in de economie en samenleving voert Duitsland allerlei specifieke programma's voor deze onderwerpen uit. Daarnaast signaleren de Duitsers het belang van ICT in de wetenschap (zowel op het gebied van infrastructuur alsook digitaal onderwijs) en ook

¹¹³ Momenteel wordt de Europese digitale markt voor 42 procent bediend door nationale dienstverleners, voor 4 procent door dienstverleners uit een andere lidstaat, en voor 54 procent door dienstverleners uit de Verenigde Staten (zie Europese Commissie (2015) EU-factsheet 'Why we need a Digital Single Market').

¹¹⁴ Zie Europese Commissie (2015) Digital Agenda for Europe – A Europe 2020 Initiative.

in de maatschappij op zichzelf (digitale technologieën maken bijvoorbeeld een hoop nieuwe interacties mogelijk). Duitsland onderkent verder ook de risico's van een digitaliserende samenleving, zoals de *online* veiligheid van burgers en de beveiliging van data en digitale ruimte. Tot slot ziet de Duitse overheid dat de huidige manier waarop onderwijs en werk zijn georganiseerd moet worden veranderd, om ruim baan te maken voor de kansen die ICT biedt. Belangrijke punten hierbij zijn een sterkere focus op diensten, een interactiever proces van waardecreatie, flexibilisering van arbeidsplekken, en meer ruimte voor doorlopende personeelsontwikkeling.¹¹⁵

Het Verenigd Koninkrijk wil wetenschap voor welvaart

Het Verenigd Koninkrijk hecht een groeiend belang aan wetenschappelijke vooruitgang, omdat het steeds meer inziet dat dit een cruciale factor is voor economische groei en welvaart. Economische groei wordt voor een belangrijk deel gedreven door de innovatieve kracht van een land. De Britse overheid heeft de ambitie om het Verenigd Koninkrijk 'de beste plek ter wereld om wetenschap te bedrijven' te laten zijn. Om dit vorm te geven heeft zij tien technologieën geïdentificeerd die aan drie criteria voldoen: i) ze komen voort uit veelbelovende wetenschappelijke ontwikkelingen, ii) het Verenigd Koninkrijk kan zich erop onderscheiden, en iii) ze bieden kansen voor commercialisering. De tien technologieën zijn: *big data*, satellieten en commercieel ruimtegebruik, robotica, *life sciences* en *genomics*, regeneratieve geneeskunde, landbouwtechnologie, nieuwe materialen en nanotechnologie, energieopslag (waaronder batterijen), kwantumtechnologie, en het *internet of things*.

Om de potentie van deze technologieën tot uitdrukking te laten komen in de economie, stelt de vorige minister voor Universiteiten en Wetenschap David Willetts dat een goed kennisbeleid rust op drie pijlers. De eerste pijler is autonome wetenschap. De financiering daarvan moet plaatsvinden op basis van excellentie en worden vormgegeven door een autonome wetenschappelijke gemeenschap. De tweede pijler is een flexibele en open markteconomie die de nieuwste wetenschappelijke ontwikkelingen kan absorberen. De derde pijler is een arrangement om kennis te commercialiseren en de *valley of death* te overbruggen. Deze derde pijler vormt de schakel tussen de eerste twee en wordt vaak over het hoofd gezien. Hier heeft de overheid een duidelijke rol. Een sterke focus op *general purpose technologies* zou hierbij centraal moeten staan; denk bijvoorbeeld aan de maatschappijbrede impact die een sleuteltechnologie als ICT heeft.¹¹⁶

¹¹⁵ Zie Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014) The new High-Tech Strategy – Innovations for Germany, en Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014) Digital Agenda 2014-2017.

¹¹⁶ Zie Policy Exchange (2013) Eight Great Technologies.

Frankrijk agendeert zeven ambities

Op basis van een uitgebreide consultatie heeft de Commissie Lauvergeon zeven uitdagingen voor Frankrijk geïdentificeerd. Bij de selectie heeft de commissie eerst en vooral gekeken naar het potentieel om groei, werkgelegenheid en exportcapaciteit te genereren. Daarnaast hebben criteria als de bijdrage aan duurzaamheid, maatschappelijke acceptatie, het versterken van de positie van Frankrijk in de wereld, de aansluiting bij de kennisbasis en bij de economische kerncompetenties van Frankrijk, en de specifieke verantwoordelijkheden van de staat een rol gespeeld. De zeven uitdagingen zijn: i) energieopslag, vooral voor energie uit variabele bronnen als wind en zon, ii) recycling van metalen, in het bijzonder zeldzame aardmetalen, iii) exploitatie van marine hulpbronnen, in het bijzonder het winnen van metalen uit de zeebodem en efficiënte ontzilting van zeewater, iv) ontwikkeling van nieuwe voedingsmiddelen op basis van plantaardige eiwitten en productie van nieuwe materialen op basis van plantaardige materialen, v) geïndividualiseerde geneeskunde, onder andere voortbouwend op *genomics* en *proteomics*, vi) de 'zilvergrijze' economie: innovatie ten dienste van autonomie in de laatste levensfase (robotica, zorgondersteunende domotica), vii) *big data*, het beter gebruik van digitale gegevens.

De Commissie Lauvergeon pleit daarbij voor een cultuuromslag in Frankrijk. Een bredere erkenning dat innovatie essentieel is voor economisch succes is noodzakelijk. Vernieuwingen moeten verwelkomd worden, procedures vereenvoudigd, experimenten aangemoedigd, normen aangepast, risico's en eventueel falen geaccepteerd, overheidsbeleid en -aankopen innovatiegericht. Frankrijk zal de komende jaren in deze zeven uitdagingen investeren. Niet alleen Franse onderzoekers en ondernemingen worden uitgenodigd om op de betreffende programma's in te schrijven, maar ook partijen van buiten, mits ze hun onderzoek en ontwikkeling in Frankrijk verrichten.¹¹⁷

Marktstructuur en bedrijfsomvang

Technologische ontwikkelingen hebben een effect op de schaal van bedrijven. De technologieën die in de industrieën van de 19^{de} en 20^{ste} eeuw in zwang waren, kenmerkten zich door een minimum efficiënte schaal die naar de huidige maatstaven erg groot was. Fabrieken en kantoren boden werk aan duizenden arbeidskrachten op eenzelfde locatie. Grote bedrijven (in termen van werknemers) werden dominant. De op ICT geënte technologieën van onze tijd brengen de minimum efficiënte schaal van veel soorten productie naar beneden. Mogelijk wordt deze ontwikkeling nog verder doorgezet wanneer technieken als *3D-printing* volwassen worden. Maar belangrijker is dat deze zelfde op ICT gebaseerde technologieën de minimum efficiënte schaal van een

¹¹⁷ Commission sous la présidence d'Anne Lauvergeon (2013) Un principe et sept ambitions pour l'innovation.

organisatie naar beneden hebben gebracht. ICT reduceert allerlei vormen van transactiekosten en heeft daarmee kleine bedrijven in staat gesteld om tegen lage kosten wereldwijd met partners in flexibele netwerken samen te werken en mondiale markten te bedienen.

In alle ontwikkelde markteconomieën levert een breed spectrum aan grote, middelgrote en kleine bedrijven het totale aanbod van goederen en diensten. Grote en kleine bedrijven hebben elk specifieke kenmerken die ervoor zorgen dat ze kunnen blijven voortbestaan in een economisch ecosysteem dat door concurrentie wordt gekenmerkt. Ze zijn ook in zekere zin complementair aan elkaar en ze hebben elkaar vaak nodig. Waar het bijvoorbeeld gaat om technologische veranderingen zijn grote bedrijven vaak weinig wendbaar, maar sterk in planmatige, incrementele verbeteringen van producten en processen. Bovendien beschikken ze vaak over eigen middelen voor ontwikkeling en innovatie. Kleine bedrijven zijn vaak de bron van meer radicale vernieuwingen, maar ontberen dikwijls het vermogen – in beide betekenissen van het woord – om door te ontwikkelen en op te schalen.

Omdat technologische ontwikkeling op basis van ICT transactiekosten omlaag brengt, reduceert het de minimum efficiënte schaal van bedrijven. Het faciliteert daarmee het ontstaan van nichemarkten met een groot geografisch bereik en soms een *winner-takes-all* karakter. Dit biedt kansen voor starters, ZZP'ers, kleine ondernemingen, 'groeibriljanten'. Het belang van ondernemerschap en van innovatief mkb stijgt. Nu al is te zien hoe in de Nederlandse economie steeds meer kleine, flexibele bedrijven opkomen die in netwerkverband werken.¹¹⁸

Dit gegeven onderstreept het belang van groeibriljanten voor de Nederlandse economie en voor de werkgelegenheid.¹¹⁹ Groeibriljanten zijn kleine, startende, innovatieve bedrijven die de ambitie en de potentie hebben om door te groeien door permanente product vernieuwing en daarmee wereldwijde markten te bedienen. Onze economie is voor zijn werkgelegenheidsaanwas in toenemende mate op deze groeibriljanten aangewezen. Het is dan ook zaak deze bedrijven te koesteren en waar mogelijk te faciliteren.

Ondernemersklimaat en verdienmodellen

De industriële revolutie kon zich in de 19^{de} eeuw voltrekken omdat er een basis van instituties bestond – en daarna verder ontwikkeld werd – die ondernemers het vertrouwen gaf dat ondernemen loonde. Deze instituties, veelal formeel in wetgeving

¹¹⁸ International Labour Organisation (2015) World Employment Social Outlook – The changing nature of jobs, laat zien dat in ontwikkelde economieën steeds minder mensen hun brood verdienen als werknemer en steeds meer als zelfstandige. In veel landen zijn de sociale zekerheidsarrangementen en de arbeidsmarktregulering nog onvoldoende op deze ontwikkeling afgestemd.

¹¹⁹ Zie AWT (2014) Briljante bedrijven.

vastgelegd, dienden ter bescherming van eigendom en ter regulering van economische betrekkingen. Eigendomsrechten, waaronder intellectuele eigendomsrechten, maakten het voor ondernemers aantrekkelijk te investeren met een langetermijnperspectief. Contractrecht en aansprakelijkheidsrecht faciliteerden handelsrelaties. Arbeidsrecht reguleerde arbeidsrelaties. De instituties van de 19^{de} en 20^{ste} eeuw maakten industriële productie en handel in fysieke goederen en persoonlijke diensten mogelijk. De op ICT geënte technologieën van de 21^{ste} eeuw leiden tot nieuwe ‘informatie-intensieve’ producten en diensten die van een ander karakter zijn dan de goederen en diensten uit het verleden. Ze zijn vaak gemakkelijk te kopiëren en te verspreiden – het is moeilijker om er eigendomsrechten op te vestigen en om die rechten te handhaven. Ondernemen in de 21^{ste} eeuw vraagt daarom om nieuwe businessmodellen, die wellicht ondersteund moeten worden door nieuwe instituties.

Kenmerkend voor informatieproducten, waarvan de verspreiding met de ontwikkeling van ICT een grote vlucht heeft genomen, is dat ze gemakkelijk te kopiëren zijn. In de hoek van de producten die digitaal te verspreiden zijn, beginnen steeds meer nieuwe verdienmodellen tot ontwikkeling te komen. Sommige berusten op het gratis verspreiden van een deel van het product ter promotie, en het daaraan koppelen van additionele op persoonlijke behoeften toegesneden dienstverlening of andere extra's tegen betaling. Veel nieuwsmedia als kranten en tijdschriften die op internet actief worden, hanteren dit model. Andere volgen een pad van het gebruik van het digitale product teneinde bekendheid en populariteit te kweken, om daarmee een markt te laten ontstaan voor het eigenlijke product. Dat is wat de muziekindustrie doet, die muziek via internet verspreid om publiek te verleiden naar concerten te komen. Een derde strategie is digitale content weggeven voor persoonlijke data, die op zichzelf of in combinatie met andere data waarde vertegenwoordigen. Op die manier verdienen zoekmachines en aanverwante diensten als Google een goed belegde boterham.

Het ter beschikking komen van sensordata verandert het verdienmodel van veel industriële bedrijven die duurzame producten als apparaten, voertuigen of andere systemen leveren. Voorheen werden die producten doorgaans verkocht, periodiek onderhouden en gerepareerd op afroep. Tegenwoordig kan de onderhoudstoestand vaak *real time* in de gaten gehouden worden met sensoren die via het internet data rapporteren. Dat stelt een leverancier in staat niet langer een product te leveren, maar een dienst – de dienst waarvoor het product benut wordt. Een voorbeeld is Rolls Royce, voorheen leverancier van vliegtuigmotoren, nu van stuwkracht voor vliegtuigen. De motoren worden geleased, waarbij de verantwoordelijkheid voor het goed functioneren bij de motorenfabrikant ligt. Een ander voorbeeld is Océ (onderdeel van Canon), voorheen leverancier van kopieerapparaten, tegenwoordig van *document workflow management* systemen. De data die de sensoren leveren, hebben vaak nog een waarde die verder strekt dan voor het optimaliseren van onderhoud. Ze verschaffen de fabrikant informatie

over het gebruik van het product en helpen daarmee het product te verbeteren of nieuwe diensten bij het product te ontwikkelen.

Kenmerkend voor de organisatie die door ICT wordt gefaciliteerd is de netwerkvorm. ICT maakt het efficiënt functioneren van productieketens en innovatienetwerken mogelijk en het besturen ervan behapbaar. Ook dit heeft implicaties voor businessmodellen. Wil ketenintegratie werken, dan vraagt dat bijvoorbeeld om borging van afspraken en procedures die het eigendom, de betrouwbaarheid en de kwaliteit van data en onderzoeksresultaten betreffen.

In dit hoofdstuk hebben we eerst gekeken welke karakteristieken van ICT bepalend zijn voor de effecten op de structuur en het functioneren van de economie. Daarna kwam aan de orde hoe dit in de praktijk uitwerkt op kernvariabelen die de Nederlandse economie karakteriseren als werkgelegenheid, inkomensverdeling, sectorstructuur, marktstructuur en bedrijfsomvang, en op de dynamiek van internationalisering, Europese integratie, verschuivingen in sectorgrenzen en veranderingen van verdienmodellen. In het volgende hoofdstuk kijken we om te beginnen naar de karakteristieken van ICT die onderzoek en innovatie transformeren. Daarna nemen we de uitwerking daarvan op het Nederlandse kennis- en innovatiesysteem onder de loep.

De impact van ICT op onderzoek en innovatie

Onderzoek en innovatie zijn de motor achter economische verandering. ICT heeft een ingrijpende invloed op deze motor. ICT is een *general purpose technology* die de structuur en het functioneren van de economie direct beïnvloedt door het veranderen van productie- en allocatieprocessen, en indirect door het transformeren van onderzoeks- en innovatieprocessen. In dit hoofdstuk nemen we dit indirecte kanaal onder de loep. We kijken achtereenvolgens naar hoe ICT onderzoek en innovatie verandert, en vervolgens naar hoe dit in Nederland uitwerkt.

3.1 ICT en veranderingen in onderzoek en innovatie: de bepalende aspecten

Wetenschappelijke vooruitgang is in hoge mate afhankelijk van de instrumenten die onderzoekers ter beschikking staan. De medische wetenschappen kregen een enorme impuls toen de microscoop van Van Leeuwenhoek ter beschikking kwam. De progressie in de medicijnen ging vervolgens gelijk op met de verbeteringen in microscopen (en de verbetering in allerlei andere onderzoeksinstrumenten en –methoden). Net zo maakt de sterrenkunde voortgang door progressie in telescopen en de natuurkunde door voortgang in deeltjesversnellers. Op dit moment is de computer een dominant instrument in vrijwel alle wetenschappen. Alle wetenschappelijke kennisontwikkeling en alle onderzoek, in wat voor discipline dan ook, maakt gebruik van ICT. Daarmee is wetenschappelijke vooruitgang meer dan ooit afhankelijk geworden van de beschikbaarheid van een kwalitatief hoogwaardige ICT-infrastructuur en ICT-expertise. Bovendien levert de combinatie van ICT met specifieke vakgebieden als nanotechnologie, biotechnologie en cognitieve wetenschappen tal van nieuwe mogelijkheden.

ICT heeft in onderzoek en innovatie het karakter van een gereedschapskist, een instrumentarium voor waarneming, dataverwerking, modellering, simulatie, visualisatie en communicatie. De ontwikkelingen in ICT zorgen ervoor dat dit instrumentarium constant wordt uitgebreid. De ontwikkeling van het instrumentarium verandert niet alleen de manier waarop het onderzoek wordt gedaan, maar vergroot ook de reikwijdte van de vragen die aan bod komen en transformeert de organisatie van het onderzoek. In de volgende paragrafen gaan we in detail in op vier gevolgen van ICT voor onderzoek en innovatie: i) ICT versnelt het onderzoek en verhoogt de productiviteit, ii) meer *data science* faciliteert meer inductief onderzoek, iii) meer *data science* faciliteert integrale systeemanalyses en inspireert nieuwe vragen, en iv) meer interactie verandert de organisatie van kennisontwikkeling en innovatie.

ICT versnelt het onderzoek en verhoogt de productiviteit

Het beschikbaar komen van het ICT-instrumentarium heeft geleid tot een kennisontwikkeling en een onderzoekspraktijk die hetgeen ze al deed nu sneller en efficiënter doet. Het gebruik van computers in wetenschappelijk onderzoek heeft een grote productiviteitsstijging teweeg gebracht. Statistische verwerking van empirische gegevens die vroeger dagen noeste arbeid vergde, vraagt nu nog maar om een druk op de knop. Experimenten die vroeger *in vivo* moesten worden gedaan, kunnen nu *in silico* geschieden. Met behulp van simulatiemodellen kunnen voorafgaand aan experimenteel onderzoek kansrijke onderzoeksopties worden geïdentificeerd en weinig kansrijke worden uitgesloten. Dit gebeurt bijvoorbeeld in de genetica of in de ontwikkeling van geneesmiddelen, waar de eigenschappen van allerlei varianten van enzymen of andere actieve stoffen met computermodellen kunnen worden geanalyseerd alvorens ze in de praktijk te construeren en testen.

Meer data science faciliteert meer inductief onderzoek

Daarnaast verandert de computer ook het onderzoeksproces zelf. De aard van de onderzoeksinstrumenten heeft in veel wetenschappelijke disciplines een bepalende invloed op de manier waarop kennisontwikkeling plaatsvindt. De meeste disciplines – de wiskunde is wellicht een uitzondering – zijn erop gericht aspecten van de waarneembare werkelijkheid te verklaren en te begrijpen. Wetenschappelijke vooruitgang is daarom afhankelijk van toetsing van theorieën aan die werkelijkheid. Empirische toetsing vraagt om waarnemingen en om verwerking van daarvan. Tot voor kort waren waarnemingen relatief schaars. Het verzamelen ervan was dikwijls moeilijk en kostbaar. Waarnemingen waren vaak partieel, niet continu maar verspreid in de tijd, en indirect (een meting van een indicator in plaats van de eigenlijke variabele). Het verwerken van empirische informatie was arbeidsintensief.

Deze stand van zaken werkte een methodologie in de hand waarbij theorievorming – het formuleren van onderzoekshypothesen – aan dataverzameling en/of verwerking voorafging. De wetenschap schrijdt voornamelijk voort langs de door Popper beschreven deductieve paden van hypothesevorming en pogingen tot falsificatie (dan wel verificatie). Theorievorming is weliswaar geïnspireerd door waarneming, maar gaat in het algemeen vooraf aan formele toetsing. Een methodologie die uitgaat van *ex ante* theorievorming, abstractie en reductie van complexiteit, kent zijn praktische grenzen. Het specifieke gedrag van systemen die bestaan uit veel elementen van uiteenlopende aard, die allemaal met elkaar interacteren, en waarop talloze exogene invloeden zich doen gelden – en dat is toch hoe systemen in de wereld om ons heen eruit zien – is vaak niet integraal te beschrijven, te begrijpen en te voorspellen op basis van een deductieve en reductionistische methodologie.

Het ICT-instrumentarium maakt het steeds meer mogelijk een andere methodologie van kennisontwikkeling te volgen.¹²⁰ Rekenkracht en opslagcapaciteit zijn veel minder schaars. Data zijn er in overvloed, afkomstig uit een grote variëteit aan bronnen, en ze zijn continu en *real time* beschikbaar. Nieuwe *data mining* algoritmen zijn steeds beter in staat om met deze overvloed aan data om te gaan, er patronen en verbanden in te onderkennen en er gestructureerde informatie uit te destilleren, bijvoorbeeld door deze te visualiseren. Dat leidt ertoe dat kennis meer dan in het verleden op een inductieve manier tot stand kan komen.¹²¹ Waar de gangbare, deductieve methodologie eruit bestaat naar empirische verbanden op zoek te gaan op basis van veronderstelde causaliteit – eerst komt de theorie en dan empirische toetsing –, draait de inductieve, ICT-gedreven methodologie dit proces als het ware om. De data en de algoritmen laten zien welke structuur in complexe systemen te ontdekken valt en welke regelmatigheden het gedrag van deze systemen kenmerkt. Empirische analyse gaat vooraf, inspireert en geeft richting aan het zoeken naar causaliteit.

Ontdekking van patronen, regelmatigheden en correlaties genereert op zichzelf nog geen wetenschappelijk inzicht, maar kan niettemin bruikbare kennis opleveren. Er valt niet mee te verklaren, maar wel te voorspellen. Zo kunnen zowel bedrijven als overheden, die het vaak minder gaat om weten waarom iets werkt als wel dat het werkt, geholpen zijn met dit soort kennis.¹²²

Het micro-macroprobleem

In de economie bestaan sinds de jaren dertig van de vorige eeuw micro-economie en macro-economie naast elkaar. Micro-economie beschrijft en verklaart economisch keuzegedrag van individuen of bedrijven. Macro-economie analyseert de ontwikkeling van geaggregeerde grootheden als productie, werkgelegenheid en inflatie.

De ontwikkeling van macro-economische grootheden is het aggregaat van talloze beslissingen op microniveau, die onderling van elkaar afhankelijk zijn. In principe is het mogelijk om de ontwikkeling van macro-economische variabelen te modelleren door alle micro-economische beslissingen en interacties in een model te vatten.

In de praktijk is dit met de momenteel beschikbare instrumenten veel te complex. Daarom bestaan micro-economie en macro-economie als het ware los van elkaar.

¹²⁰ Het proces vertoont parallellen met de vervanging van de stoommachine door de elektromotor in fabrieken: zie de kadertekst in paragraaf 2.1.

¹²¹ Recente ontwikkelingen gaan zelfs verder dan patroonherkenning en identificatie van structuur in dataverzamelingen. De huidige cognitieve computersystemen (zoals de Watson-computer van IBM) ondersteunen specialisten (bijvoorbeeld oncologen, artsen, bankiers) door vragen te beantwoorden op basis van verwerking van veel gegevens uit een breed spectrum aan bronnen als encyclopedieën, wetenschappelijke tijdschriften, boeken en van het internet gehaalde informatie. Daarbij evalueren ze de kwaliteit van het antwoord of de gevonden oplossing door middel van toetsing van hypothesen, berekening van betrouwbaarheid, testen op volledigheid, en onderbouwing van hoe tot een antwoord of een oplossing is gekomen.

¹²² Zie over de impact van *big data* op onderzoek en op de wetenschappelijke methodologie tevens Dialogic (2015) *Big Data in onderwijs en wetenschap* – Inventarisatie en essays, pp. 15-17 en pp. 41-48.

We begrijpen gedrag op micro-economische schaal en weten ook veel over macro-economische verbanden, maar we hebben weinig systematische kennis van wat daartussen precies gebeurt.

Het micro-macroprobleem is niet voorbehouden aan de economie. Het is een probleem dat zich voordoet in veel wetenschappen. In de natuurwetenschappen zijn de afgelopen jaren enorme vorderingen gemaakt in de nanowetenschappen. Op nanoniveau weten we steeds beter hoe atomen en moleculen zich gedragen. In de biochemie begrijpen we steeds meer van het gedrag van DNA en eiwitten. Maar vanaf de nano- en microschaal is het nog een hele vertaalslag naar de macrowereld waarin wij onszelf bewegen. Hoe moleculen zich gedragen in een oplossing met een bepaalde ruimtelijke verdeling van andere moleculen, en daar veranderingen op macroschaal teweeg brengen, is enorm ingewikkeld. Hoe eiwitten zich gedragen binnen een cel waarin zich talloze andere eiwitten bevinden en daarmee cellen van functie of gedaante doen veranderen, is uiterst complex.

De brug tussen micro en macro te slaan is in veel wetenschappelijk onderzoek van de toekomst een van de centrale uitdagingen.¹²³ Het slaan van deze brug draagt niet alleen bij aan ons begrip van hetgeen we om ons heen waarnemen, maar heeft ook allerlei praktische toepassingen, bijvoorbeeld omdat het ons in staat stelt op micro-niveau veel efficiënter te interveniëren om op macroniveau bepaalde effecten te bewerkstelligen.

Om de brug te slaan, zijn twee zaken van essentieel belang. Allereerst is discipline-overschrijdende samenwerking nodig. De brug moet vanaf twee oevers worden aangelegd. Beide oevers worden gekenmerkt door eigen theorieën en methodologieën en eigen wetenschappelijke tradities. In de tweede plaats is er behoefte aan een combinatie van modellen, algoritmen en rekenkracht. Om de complexiteit op tussenliggende aggregatieniveaus aan te kunnen, is ICT op dit moment een belangrijke bepalende – en vaak nog beperkende – factor.

Meer data science faciliteert integrale systeemanalyses en inspireert nieuwe vragen

De beperking van het empirisch instrumentarium heeft tot op heden niet alleen een deductieve, maar ook een reductionistische aanpak in de wetenschap bevorderd. Het onderzoek richt zich waar mogelijk op behapbare problemen. Wetenschappelijke problemen worden behapbaar gemaakt door ze onder te verdelen in kleine deelproblemen die onder specifieke condities of binnen een bepaalde discipline, los van elkaar,

¹²³ Zie Department of Energy (2012) From quanta to the continuum: opportunities for mesoscale science.

kunnen worden opgelost. Verder worden vraagstukken behapbaar gemaakt door te abstraheren van allerlei secundaire invloeden en verbanden en uit te gaan van een gestileerde werkelijkheid (een mechanica zonder wrijving; de mens als rationele beslisser). Deze gang van zaken levert partiële en gestileerde antwoorden op, die vaak moeilijk te integreren zijn en tekortschieten in het verklaren van observaties op systeemniveau.

Doordat nieuwe algoritmen steeds beter met een overvloed aan data kunnen omgaan, wordt het mogelijk om structuur in informatie op het spoor te komen op basis van patroonherkenning op systeemniveau. De technologieën rondom *big data* (zowel het verzamelen als het – steeds meer *real time* – analyseren van data) vorderen momenteel zo snel dat dergelijke patroonherkenning een steeds aantrekkelijkere onderzoeksmethode wordt. Hiermee kunnen in complexe systemen allerlei nieuwe en soms verrassende structuren en verbanden worden ontdekt, zonder het systeem vooraf op te knippen of te desaggregeren.¹²⁴ Het maakt het mogelijk de analyse van complexe onderzoeksobjecten op een meer integrale manier aan te pakken.

Implementatie van ICT doet methodologische grenzen tussen wetenschappelijke vakgebieden vervagen. Computers hebben geen weet van de grenzen tussen disciplines. Ze kennen de verschillende denkwerelden van natuurkundigen, scheikundigen, biologen, psychologen en sociologen niet, ze zijn niet bekend met de onderscheiden schaalniveaus van hun respectievelijke disciplines – ze kennen alleen data. Als wetenschappelijke kennisontwikkeling meer *data driven* wordt, meer gedreven vanuit de verbanden die computeralgoritmes uit veelsoortige databestanden weten te destilleren, dan worden de grenzen tussen wetenschappen langzaam poreus. Wetenschappelijke benaderingen van problemen worden dan meer integraal en synthetisch en wetenschap wordt methodologisch homogener. Een inductieve methodologie, gebaseerd op *data mining* en patroonherkenning, is in zijn aard integraal en transdisciplinair.¹²⁵ Doordat analyses op systeemniveau mogelijk worden, komt het aanpakken van systeembrede wetenschappelijke vragen, zoals actueel zijn rond maatschappelijke uitdagingen als klimaatverandering of vergrijzing, nu ook binnen bereik (zie voor voorbeelden het tekstkader over het Nederlandse eScience centrum in paragraaf 3.2.2. hieronder).

Interactie verandert de organisatie van kennisontwikkeling en innovatie

ICT transformeert niet alleen de kennisontwikkeling zelf, maar ook de organisatie van de kennisontwikkeling. De organisatie van kennisontwikkeling en innovatie is in het verleden

¹²⁴ Zo zijn onderzoekers aan Alaska University in Anchorage erin geslaagd om via analyse van *big data* uit een groot aantal bronnen van uiteenlopende aard het eerste godsbewijs van Descartes empirisch te verifiëren. Zie Graham, Koch en Palin (2014) *Beyond reasonable doubt – Irrefutable corroboration of His very existence*, *International Journal of Empirical Theology*, vol. 37, pp. 451-475.

¹²⁵ Multidisciplinair onderzoek is in dit kader onderzoek waaraan onderzoekers uit verschillende disciplines vanuit hun eigen domeinkennis en methoden samenwerken. Met transdisciplinair onderzoek bedoelen we onderzoek waarbij onderzoekers met verschillende disciplinaire achtergronden samenwerken vanuit een gedeeld perspectief en met een gedeelde aanpak. Zie ook AWT (2003) *1 + 1 > 2*, pp. 16-17.

geconcentreerd geweest binnen kennisinstellingen (universiteiten, onderzoeksinstituten, academische ziekenhuizen) en bedrijven. Er is een arbeidsverdeling tussen deze organisaties ontstaan, waarbij kennisinstellingen vooral wetenschappelijke kennis ontwikkelden en bedrijven zich richtten op kennistoepassingen. De precieze vorm van deze arbeidsverdeling en van de verhouding van kennisinstellingen tot bedrijven verschilt enigszins tussen landen en evolueert ook in de loop van de tijd. In sommige landen bestaat er binnen bedrijven een duidelijke organisatorische scheiding tussen kennisontwikkeling – in het laboratorium – en productie, terwijl in andere landen beide meer geïntegreerd zijn, met een zwaarder accent op *learning by doing*.¹²⁶ In veel landen hebben bedrijven zich teruggetrokken uit het meer wetenschappelijk getinte onderzoek en hebben ze zich steeds meer geconcentreerd op kennisassemblage en -toepassing.¹²⁷

Kenmerkend voor kennisontwikkeling in het verleden was dat deze veelal plaatsvond binnen de grenzen van organisaties, *in-house*. Onderzoek binnen universiteiten was in de twintigste eeuw veel meer dan nu een lokale activiteit die ten dienste stond van het onderwijs. Toen zijn ook grote industriële ondernemingen tot ontwikkeling gekomen met functies voor product- en procesontwikkeling, die vooral *offline* (in aparte R&D-afdelingen) dan wel *online* (op de werkvloer) waren georganiseerd. In beide gevallen vond technologieontwikkeling voornamelijk plaats binnen de onderneming.

Daarin is de afgelopen decennia verandering gekomen, vooral ten gevolge van de ICT-revolutie. Deze revolutie heeft een reeks van belangrijke gevolgen gehad voor de organisatie van kennisontwikkeling en innovatie. In de eerste plaats heeft deze de mondialisering van de wetenschap een krachtige impuls gegeven. In de tweede plaats is de innovatiepraktijk van grote ondernemingen veranderd. In de derde plaats zijn de mogelijkheden van kleine ondernemingen versterkt om innovatief te zijn en om in de ontwikkeling van nieuwe producten en diensten een dominante rol te spelen.

Wetenschap is in zijn aard altijd een open activiteit geweest, waarbij onderzoekers resultaten in het publieke domein brachten en internationaal deelden via tijdschriften. Maar het proces van wetenschappelijk onderzoek zelf was overwegend lokaal. Dat is veranderd met de ontwikkeling van een krachtige, wereldomspannende ICT-infrastructuur. Dit heeft mogelijkheden geopend voor de ontwikkeling van mondiale netwerken van onderzoekers die aan dezelfde thema's werken en voor nauwe samenwerking in onderzoek over geografische grenzen heen. ICT stelt onderzoekers in staat daadwerkelijk in projecten samen te werken met de beste partners, waar ook ter wereld.

¹²⁶ Foray (2004) The economics of knowledge, maakt in dit verband een onderscheid tussen offline en online kennisontwikkeling. Zie ook Hall en Soskice (2001) An introduction to Varieties of Capitalism, en AWT (2013) Going Dutch.

¹²⁷ Sinds de jaren tachtig is de R&D binnen bedrijven, mede geïnspireerd door het succes van Japanse ondernemingen, dichter naar de werkvloer geschoven. Grote ondernemingen in de hele wereld hebben hun centrale onderzoekslaboratoria afgebouwd en het onderzoek naar de business units gebracht, de budgetten voor onderzoek gedecentraliseerd en zich op onderzoekwerk dichter bij de markt geconcentreerd.

Ook in het bedrijfsleven is op basis van nieuwe digitale technologie de laatste jaren een nieuwe organisatievorm voor technologieontwikkeling tot stand gekomen. Veel van de huidige technologieontwikkeling vindt niet meer plaats achter de bedrijfsmuren, maar is het resultaat van samenwerking in minder of meer open innovatienetwerken. De deelnemers in die netwerken staan bijna permanent met elkaar in verbinding dankzij ICT, communiceren langs deze weg intensief en gebruiken gezamenlijk dezelfde digitale onderzoeksinstrumenten, data en programmatuur. De ontwikkeling van digitale hulpmiddelen heeft 'open innovatie' mogelijk gemaakt en ervoor gezorgd dat dit – mits goed ingericht – een steeds efficiëntere vorm van gezamenlijke technologieontwikkeling is geworden.¹²⁸ Door ICT gefaciliteerde open innovatie stelt niet alleen grote bedrijven in staat om te profiteren van de onderzoekscapaciteiten van partners. Het geeft ook mkb-bedrijven kansen om te participeren in R&D-netwerken. Deze ontwikkeling naar open innovatie krijgt mogelijk een verdere impuls naarmate wetenschappelijke informatie en andere data meer langs de regels van *Open Access* ter beschikking komen.

Technologieontwikkeling in netwerkverband biedt nieuwe mogelijkheden om enerzijds een klimaat te scheppen waarin ontwikkeling en innovatie goed gedijen, en anderzijds een nauwe band met toepassing en praktijk te houden. Innovatie is een creatief proces dat veelal in interactie met een breed spectrum van partijen plaatsvindt. In deze interactie is het delen van kennis en de overdracht van *tacit knowledge* belangrijk. Directe interactie is een noodzakelijk onderdeel van het creatieve proces waarin nieuwe kennis wordt gecreëerd.¹²⁹ Voorheen was deze interactie volledig afhankelijk van het elkaar fysiek treffen. Dit verklaart het ontstaan en succes van geografisch geconcentreerde clusters van bedrijvigheid, innovatieve 'ecosystemen' en economische *hotspots*, en de hoge mate van concentratie van academisch toponderzoek op een paar plekken in de wereld. Nu faciliteren digitale instrumenten persoonlijke interactie en de uitwisseling van *tacit knowledge* steeds beter. Hier liggen nog mogelijkheden voor verdere ontwikkeling.

Een specifieke vorm van interactie die door ICT een enorme vlucht heeft genomen, is interactie met gebruikers van producten en diensten. Al in 1982 heeft Rosenberg erop gewezen dat *learning by using* een belangrijke inspiratiebron voor innovatie kon zijn. Het gebruik van producten en processen onder specifieke lokale omstandigheden brengt vaak problemen en mogelijkheden aan het licht die de ontwerpers van deze producten en processen niet van tevoren konden voorzien. Gebruikers leren niet alleen hoe iets te gebruiken, maar ook hoe het verbeterd kan worden. Dit geeft vaak aanleiding voor de betrokkenheid van gebruikers in innovatieprocessen. Dit is door de ICT-revolutie alleen maar versterkt: gebruikers zijn belangrijke actoren in veel innovatieve netwerken geworden.

¹²⁸ Zie hierover onder andere AWT (2006) Opening van zaken – Beleid voor open innovatie.

¹²⁹ Nonaka en Takeuchi (1995) The knowledge creating company.

Net zoals gebruikers via ICT betrokken raken bij de ontwikkeling van producten en diensten, zo raken geïnteresseerde burgers betrokken bij academisch onderzoek. Dit wordt wel als *open science* aangeduid. Hiermee wordt een volgende stap gezet naar open netwerken in onderzoek. Op deze wijze heeft de ontwikkeling van ICT de organisatie van kennisontwikkeling en innovatie ingrijpend veranderd. Beide vinden steeds meer plaats in open, grensoverschrijdende netwerken.

3.2 ICT en veranderingen in onderzoek en innovatie: de uitwerking

De ontwikkeling van ICT heeft processen van onderzoek en innovatie getransformeerd. Onderzoek en innovatie zijn drijvende krachten achter de dynamiek in de economie. In deze paragraaf kijken we hoe het ervoor staat in Nederland met het vermogen om in onderzoek en innovatie gebruik te maken van de mogelijkheden die ICT biedt. Achtereenvolgens komen aan de orde: de e-infrastructuur, de kennisbasis op ICT-gebied, de organisatie van onderzoek en innovatie in Nederland en de integratie in grensoverschrijdende netwerken.

De infrastructuur

Wetenschappelijke vooruitgang in vrijwel alle disciplines is afhankelijk van beschikbaarheid van data, veel rekenkracht, snelle verbindingen en slimme algoritmes. Daarvoor moeten onderzoekers kunnen beschikken over geavanceerde e-infrastructuur. Deze e-infrastructuur omvat gezamenlijke (super)computers en opslagfaciliteiten, servers en glasvezelnetwerken, en de software om dit alles met elkaar te laten functioneren. De Nederlandse e-infrastructuur is voor een deel instellingsgebonden en voor een deel gemeenschappelijk. Het gemeenschappelijke deel wordt ontwikkeld en onderhouden door SURF en is vooralsnog van wereldklasse. De Nederlandse kennisinstellingen maken gebruik van een e-infrastructuur die tot voor kort zijn gelijke in de wereld niet kende. Worden er geen maatregelen genomen, dan wordt dat de komende jaren anders, omdat de middelen om in deze infrastructuur te investeren zijn opgedroogd. Illustratief is de positie van Nederland op de lijst van beschikbaarheid van supercomputers. Met de Cartesius-computer van SURFsara staat Nederland na de laatste *upgrade* op de vijfenveertigste plek. Dit is wat beter dan de afgelopen jaren, maar gegeven de krappe investeringen zullen we de komende jaren weer wat verder zakken. SURF heeft te weinig middelen om de volgende slag te maken in de vernieuwing van de e-infrastructuur voor de kennisinstellingen en dreigt daarmee zijn koplopperspositie in de wereld te verliezen. Het behouden van onze koppositie is niet alleen een kwestie van geld, maar ook van organisatie. Investeringen in grootschalige onderzoeksinfrastructuur lopen in Nederland via NWO. Grootschalige investeringen in e-infrastructuur voor het onderzoek lopen via

SURF. Er valt voor Nederland nog wat te winnen met het beter op elkaar afstemmen van deze twee processen.

De Nederlandse e-infrastructuur voor hoger onderwijs

De nauwe samenwerking van alle instellingen voor hoger onderwijs en onderzoek in SURF en het gezamenlijk investeren van SURF met de overheid in e-infrastructuur zijn uniek in de wereld. Dit heeft mede ervoor gezorgd dat Nederlandse wetenschappers in de top van de academische wereld kunnen meedraaien.

SURF is verantwoordelijk voor de nationale e-infrastructuur. Het coördineert de beschikbaarheid van ICT-diensten die geleverd worden door instellingen voor hoger onderwijs en onderzoek zelf en door marktpartijen. Die ICT-diensten omvatten toegang tot een zeer geavanceerd en betrouwbaar netwerk, in combinatie met hoogwaardige voorzieningen voor rekenen, visualisatie en dataopslag, en diensten om die voorzieningen laagdrempelig over instellings- en landsgrenzen heen te kunnen gebruiken.

Nieuwe wetenschappelijke methoden stellen steeds hogere eisen aan reken-capaciteit, opslag en netwerken, maar ook aan de software die deze elementen bij elkaar brengt. Met de opkomst van *big data* en het gebruik daarvan in grootschalige, multidisciplinaire simulaties neemt de afhankelijkheid van een innovatieve en betrouwbare e-infrastructuur alleen maar toe. Internationale samenwerking is daarbij essentieel om het delen en analyseren van data mogelijk te maken, zoals in het kader van het klimaat- of genomicsonderzoek al volop gebeurt. Voorbeelden van grote internationale onderzoeksprojecten die niet zonder een geavanceerde e-infrastructuur kunnen, zijn de radioastronomieprojecten rond LOFAR (de *Low-Frequency Array* van het Nederlands instituut voor radioastronomie ASTRON) en de SKA (de *Square Kilometer Array*), die gebruikmaken van e-VLBI (*electronic Very Long Baseline Interferometry*, een voorziening om data *real time* te distribueren en te analyseren), de hoge-energiefysica-projecten rond de Large Hadron Collider van CERN, en de projecten in de geesteswetenschappen die gebruikmaken van CLARIAH (de Nederlandse *Common Lab Research Infrastructure for the Arts and Humanities*).

De ICT-innovaties voor het onderzoek vinden ook hun weg naar andere sectoren, waaronder het bedrijfsleven. SURF stond aan de wieg van de open Amsterdam Internet Exchange, het op één na grootste internetknooppunt ter wereld, en werkt nu aan de uitbouw van *NetherLight*, een zeer geavanceerd internationaal knooppunt voor optische verbindingen met aansluitingen vanuit Europa, Noord-Amerika, Azië en Afrika. Deze zogenaamde lichtpaden zijn rechtstreekse dataverbindingen (tot 100 Gbit/s) tussen twee punten in het netwerk, buiten het reguliere internetverkeer om.

Betrouwbaarheid, snelheid én privacy worden hiermee gegarandeerd. Bedrijven als KPN, Vodafone, Global Switch, TeleCity en vooral ook aanbieders van *cloud*-diensten maken hier gebruik van.

Nederland heeft de afgelopen drie decennia vooropgelopen in het ontwikkelen van een publieke ICT-infrastructuur voor onderzoek. Deze infrastructuur is ontwikkeld door de gezamenlijke publieke kennisinstellingen, in samenwerking met private partijen uit de telecomsector. Door deze samenwerking heeft het ontwikkelen van deze onderzoeksinfrastructuur de ontwikkeling van de ICT-infrastructuur voor bedrijven en consumenten als het ware meegetrokken. Publieke investeringen hebben substantiële *spillover*-effecten gehad. Daardoor bekleedt Nederland niet alleen hoge plekken op de ranglijsten waar het gaat om ICT-faciliteiten voor het onderzoek, maar ook waar het de digitale infrastructuur voor andere doeleinden betreft. Zo staat het in 2010 vijfde op de *Digital Economy Ranking*, in 2011 achtste op de *Government Broadband Index*, en in 2013 tweede op de *OECD Fixed Broadband Ranking*. Na tussen 2010 en 2012 gestegen te zijn van plaats zeven naar plaats vijf op de *ICT Development Index*, is Nederland in 2013 weer teruggezakt naar de zevende plaats. Volgens de *Networked Readiness Index* van het *World Economic Forum* staat Nederland sinds 2013 stabiel op de vierde plaats, na een stijging van plaats negen in 2009/2010 via plaats zes in 2012.¹³⁰

Wel zijn er signalen dat de Nederlandse positie onder druk staat, zoals bijvoorbeeld blijkt uit recent onderzoek dat de ontwikkeling van de Fletcher-MasterCard *Digital Evolution Index* traceert.¹³¹ Dit is een *digital readiness index* die gebaseerd is op de drijvende krachten en barrières die de evolutie van een land richting een digitale economie bepalen.¹³² Dit onderzoek laat zien dat Nederland weliswaar een goede *digital readiness* heeft opgebouwd, maar momenteel het land is dat onder alle landen van de wereld het snelst aan positie inboet.

Datagedreven innovatie wordt gezien als een belangrijke drijvende kracht voor economische groei in de komende jaren.¹³³ Om hieraan deel te hebben, moet niet alleen de fysieke infrastructuur op orde zijn. Dat geldt ook voor de virtuele infrastructuur, de *big data*. Databanken en gegevensverzamelingen hebben steeds meer het karakter van

¹³⁰ Zie SURF (2013) De impact van e-infrastructuur op de Nederlandse kenniseconomie; FME et al. (2014) Actieagenda Smart Industry – Dutch industry fit for the future; World Economic Forum (2015) Global Information Technology Report: ICTs for Inclusive Growth.

¹³¹ Afkomstig uit Chakravorti et al. (2015) Digital Planet: Ready for the Rise of the e-Consumer.

¹³² De index is samengesteld uit variabelen uit vier groepen: supply conditions (digitale infrastructuur en content, digitale financiële diensten, logistieke diensten), demand conditions (inkomens- en consumptiepatronen, gebruik van internetverkoop, van breedband, mobiel internet, sociale media), institutional environment (effectiviteit van de overheid, marktcondities, ondernemersklimaat), en innovation and change (vernieuwingsgerichtheid, startup culture, durfkapitaal).

¹³³ Zie OECD (2014) Data-driven innovation for growth and well-being.

infrastructuur – en daarmee van een publiek goed. Nederland heeft nog een slag te maken om zich beter in gereedheid te brengen voor *data-driven innovation*, zowel op het gebied van infrastructuur als op dat van *data analytics*, de expertise om de algoritmen te ontwikkelen om de beschikbare data optimaal te exploiteren.

De ICT-kennis en expertisebasis

Om optimaal gebruik te kunnen maken van de mogelijkheden die ICT biedt in onderzoek en innovatie, is het van belang bij te blijven dragen aan de ontwikkelingen in ICT zelf. Dat vereist capaciteitsopbouw en investeringen in de wetenschapsgebieden die voor ICT relevant zijn. Dit zijn niet alleen numerieke wiskunde, informatica en *computational science*. Bijblijven in ICT vraagt ook om het investeren in de expertise die nodig is om ICT in de diverse disciplines optimaal te kunnen gebruiken. Onderzoekers en professionals moeten voldoende bekend zijn met de al dan niet disciplinespecifieke gebruiksmogelijkheden van ICT. Een stevige basis hiervoor moet al in de studie en zelfs al op school gelegd worden.¹³⁴ Daarnaast moeten onderzoekers in de verschillende domeinen hun weg vinden naar de experts die op de hoogte zijn van de technische mogelijkheden die nieuwe ICT het onderzoek kan bieden. Een organisatie als het *Netherlands e-Science Centre (NLeSC)* vervult daarvoor een belangrijke brugfunctie.

Niet alleen het ontwikkelen van verdere technologische mogelijkheden van ICT is belangrijk. Nu al kan er technisch gezien veel meer dan momenteel zijn toepassing vindt in innovatie. Bij de verdere ontwikkeling van ICT zijn het juist allerlei maatschappelijke vraagstukken die centraal staan. Dit betreft vragen als hoe de veiligheid en de robuustheid van ICT-systemen te garanderen, hoe de privacy en de digitale identiteit van personen en organisaties te beschermen, en hoe de toegankelijkheid en de kwaliteit van open databronnen te waarborgen.

Een organisatorische innovatie: het verbinden van domeinkennis met ICT-expertise

De computer is het belangrijkste wetenschappelijke instrument van onze tijd. eScience is de discipline die de software ontwikkelt om de talrijke en complexe mogelijkheden van dit instrument zo goed mogelijk te benutten. Daarbij gaat het om generieke software die toepassingen vindt in diverse wetenschappelijke disciplines bij het efficiënt verwerken van zeer omvangrijke databestanden.

Het Nederlandse eScience centrum (NLeSC), een initiatief van NWO en SURF, verbindt softwareontwikkeling voor de wetenschap aan een breed spectrum aan

¹³⁴ De KNAW heeft al in 2012 krachtig gepleit voor meer aandacht voor ICT-vaardigheden in het onderwijs. Zie KNAW (2012) Digitale geletterdheid in het voortgezet onderwijs – Vaardigheden en attitudes voor de 21^{ste} eeuw.

toepassingen in het onderzoek. Daarbij gaat het zowel om nieuwsgierigheids-gedreven onderzoek, als om onderzoek dat geïnspireerd is door maatschappelijke of economische vraagstukken. Dit gebeurt door het honoreren van – in het algemeen transdisciplinaire – onderzoeksprojecten die worden ingediend in reactie op open *calls for tender*. Gehonoreerde projecten ontvangen niet alleen een onderzoekssubsidie, maar ook een bijdrage *in kind*, in de vorm van technische ondersteuning door aan NLeSC verbonden softwarespecialisten. Door wetenschappers met verschillende discipline achtergronden samen te brengen met technici die kennis van nieuwe softwareinstrumenten inbrengen, komen nieuwe manieren van onderzoek bedrijven binnen handbereik. Hiermee kunnen vraagstukken worden aangepakt die door hun complexiteit de mogelijkheden van traditionele benaderingen te boven gingen.

NLeSC heeft tot doel softwareinstrumenten te ontwikkelen die herbruikbaar zijn in verschillende onderzoeken. Daarom wordt veel tijd en moeite geïnvesteerd in het waarborgen van de efficiëntie, de robuustheid en de betrouwbaarheid van de software en wordt aangesloten bij vigerende standaarden. Succesvolle instrumenten worden openbaar toegankelijk gemaakt.

De onderzoeksprojecten die NLeSC ondersteunt, vallen binnen vier clusters: i) milieu en duurzaamheid (waaronder klimaat, ecologie, energie, logistiek, watermanagement, landbouw en voeding), ii) levenswetenschappen en e-gezondheid (met inbegrip van *next generation sequencing*, biobanken, mens en moleculen), iii) geestes- en sociale wetenschappen (inclusief *SMART cities*, tekstanalyse, *eBusiness*, creatieve technologieën), en iv) natuurkunde en verder (met daarbinnen astronomie, hoge-energiefysica, nieuwe materialen, constructie- en productietechnologie). Hieronder volgen drie voorbeelden.¹³⁵

Extreme climate change

Klimaatverandering is een onderwerp waar enorme (historische) datasets en complexe modellen samenkomen. Om hier iets mee te kunnen is veel rekenkracht nodig. Het klimaat in Noordwest Europa staat sterk onder invloed van de *Atlantic Meridional Overturning Circulation* (AMOC), waarvan de Golfstroom een onderdeel is.

De AMOC voert aan het oppervlak van de Atlantische oceaan warm water uit de tropen noordwaarts en koud water op grote diepte zuidwaarts. Het gedrag van de AMOC staat onder invloed van enorm veel factoren, waaronder de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer en de toevoer van zoetwater, bijvoorbeeld door het

¹³⁵ Zie achtereenvolgens: <https://www.esciencecenter.nl/project/extreme-climate-change>, <https://www.esciencecenter.nl/project/sim-city>, en <https://www.esciencecenter.nl/project/twinl>.

smelten van de gletsjers op Groenland. Mogelijk leidt een substantiële afname van de AMOC tot een temperatuursdaling van enkele graden in Noordwest Europa.

Het model dat voor dit project wordt gebouwd moet onderzoekers in staat stellen om met meer zekerheid vast te stellen wat de gevolgen van een scherpe verandering in de AMOC voor het klimaat zijn. Daartoe komen in het model alle factoren die de AMOC bepalen samen. Het model is zeer gedetailleerd en de resolutie is veel hoger dan bij gangbare klimaatmodellen. Deze hoge resolutie maakt het mogelijk om klimaatverandering op een regionaal schaalniveau te bestuderen.

SIM-CITY: decision support for urban social economic complexity

Vergelijkbaar met het klimaat qua complexiteit zijn grote steden. Het is een grote uitdaging om in megasteden crisissituaties als gevolg van overstromingen, aardbevingen, cyclonen, tsunami's, branden en ziekte-uitbraken te bedwingen. Om dat te doen, is het cruciaal om toegang te hebben tot de juiste – geografische, demografische, planologische, economische, verkeerstechnische, en ga zo maar door – gegevens en te beschikken over de instrumenten om de mogelijke ontwikkelingsscenario's van een crisissituatie nader te analyseren. Hierin komen allerlei fysische, biologische en sociaaleconomische processen samen.

Binnen dit project ontwikkelen onderzoekers een model om sociaaleconomische (ramp)scenario's in de steden Amsterdam en Bangalore te analyseren. Hoe ontwikkelt de impact van een ramp zich op een stad en hoe kunnen de gevolgen in de hand gehouden worden? Het project moet uitmonden in beslissingsondersteunende systemen voor verschillende situaties. Een daarvan is een evacuatiestrategie in geval van een acute crisis. Hiervoor worden de locaties en actuele karakteristieken van onder andere wegen (doorstroming), ziekenhuizen (beschikbare capaciteit) en hulpdiensten (bezetting) gecombineerd. Zo wordt duidelijk of de dichtstbijzijnde brandweer ook als eerste op locatie kan zijn, of wegen moeten worden afgesloten en waar knelpunten zijn te verwachten. Per scenario wordt het beste nood- en evacuatieplan geïdentificeerd. Crisismanagers krijgen zo mogelijkheden en risico's veel beter in kaart dan voorheen.

TwINL

Nieuwe sociale media zijn een nieuwe, omvangrijke en buitengewoon rijke bron van data. Zo produceert Twitter een schat aan informatie die relevant is voor bedrijven en overheden, maar bijvoorbeeld ook voor journalisten en de politie. Op Twitter is te vinden wat je doet, wat je koopt, wat je van plan bent en wat je vindt – alleen is de hoeveelheid informatie zo enorm dat patronen zonder filter niet ontdekt worden. Binnen dit project ontwikkelen onderzoekers methoden om tweets te verzamelen, op

te slaan en te analyseren. Per dag wordt één procent van alle tweets wereldwijd (gelijk aan 5 miljoen per dag) verwerkt en taalkundig geanalyseerd. Hiermee kunnen bijvoorbeeld ontwikkelingen in taalgebruik op lokaal en groepsniveau in beeld gebracht worden, maar ook de verspreiding van hooikoorts, het ontstaan van ongepland groepsgedrag als spontane feestjes, opstootjes en relletjes, of meer algemeen de stemming in het land.

De Nederlandse overheid heeft de afgelopen decennia langs verschillende kanalen in ICT-kennis en expertise geïnvesteerd. Doel was daarbij niet alleen om de expertise binnen het onderzoek te stimuleren, maar ook om kennisontwikkeling binnen het bedrijfsleven te bevorderen. De afgelopen jaren zijn de publieke ICT-investeringen in Nederland voor een belangrijk deel uit incidentele FES-middelen gefinancierd via programma's als Gigaport en COMMIT/. Het wegvallen van deze middelen dreigt het onderhoud en de vernieuwing van de kennisbasis en de infrastructuur te ondergraven.

Er zijn niet alleen zorgen omtrent het huidige volume van de publieke investeringen in ICT, maar ook over de versnippering en de verkokering. In de periode van het sleutelgebiedenbeleid (van 2004 tot en met 2010) werd ICT als een dwarsdoorsnijdende sleuteltechnologie gekarakteriseerd, waaraan alle sleutelgebieden geacht werden aandacht te besteden. Ook binnen de topsectoren is ICT tot nu toe als een gezamenlijke verantwoordelijkheid aangemerkt geweest. Delen van verdere ICT-ontwikkelingen zijn ondergebracht bij de topsector HTSM, maar dit functioneert niet als een bron van dynamiek voor de Nederlandse economie in de volle breedte, inclusief de dienstenactiviteiten buiten de topsectoren. Pas nu, vier jaar na de aanvang van de topsectoren-aanpak, is er een topteam ICT opgetuigd om meer coördinatie in de ontwikkeling van ICT in Nederland te brengen.¹³⁶ Vooral nog zijn de Nederlandse investeringen in de wetenschappelijke disciplines en de technologische capaciteiten die de ontwikkeling, toepassing en maatschappelijke inbedding van ICT moeten faciliteren, gefragmenteerd. Een samenhangende strategie ontbreekt.

De organisatie van onderzoek en innovatie in Nederland

De Nederlandse wetenschap is net als elders georganiseerd langs disciplinaire lijnen. De ontwikkeling van nieuwe op ICT gebaseerde onderzoeksinstrumenten geeft een krachtige impuls aan transdisciplinaire wetenschapsbeoefening. Daarnaast vraagt convergentie van technologieën, waaronder ICT en biotechnologie, nanotechnologie, mechanica en fotonica, om meer transdisciplinaire samenwerking. Maar een transdisciplinaire aanpak komt pas echt tot stand als de organisatorische randvoorwaarden dit faciliteren.

¹³⁶ Zie Ministerie van Economische Zaken (2014) Instellingsbesluit bevorderen ICT-innovatie.

Traditioneel faciliteert de organisatie van de wetenschap vooral disciplinaire ontwikkeling. Faculteiten, carrièrepaden en wetenschappelijke toptijdschriften zijn monodisciplinair. De wetenschap splitst uitdagingen bij voorkeur op in monodisciplinaire onderdelen en synthetiseert hooguit achteraf. In Nederland komen echter de laatste jaren steeds meer organisatorische structuren tot stand die transdisciplinaire wetenschap bevorderen. Vanuit het topsectorenbeleid wordt ingestoken op een thematische in plaats van een disciplinaire programmering. NWO sluit daar reeds met een substantieel deel van zijn middelen op aan.¹³⁷ Dit spoort met de thematische inzet vanuit de derde pijler van Horizon 2020, die maatschappelijke uitdagingen als startpunt neemt.¹³⁸

Disciplineoverschrijdende samenwerking wordt verder bevorderd door een non-hiërarchische cultuur, waarin lijnen kort en informeel zijn en kritisch denken en tegenspraak vanaf de werkvloer in het algemeen positief worden gewaardeerd. Deze cultuur lijkt in Nederland goed ontwikkeld te zijn, ook in vergelijking met andere landen. Transdisciplinariteit vereist dat alle deelnemende partijen bereid zijn om over hun eigen grenzen heen te kijken. Wat in Nederland relatief goed ontwikkeld lijkt, is het vermogen om vanuit verschillende perspectieven samen te werken aan brede, gemeenschappelijke opgaven. Nederlanders zijn naar verluidt vaak goed in het hanteren van een systeembenadering, in het ontwikkelen van integrale oplossingen, in het transdisciplinair aanpakken van uitdagingen, in het organiseren van kennisketens, in publiekprivate samenwerking, in het samenwerken over de grenzen van organisaties en vakgebieden heen. Dat geeft bijvoorbeeld onze waterbouwkundig onderzoekers en ingenieurs een voorsprong in het ontwikkelen van een integrale aanpak om het overstromingsgevaar te reduceren in de Verenigde Staten rond *New Orleans* en *New York* en langs de rivieren in het zuidwesten van Engeland. Deze eigenschap valt deels terug te voeren op institutionele omstandigheden: binnen de Nederlandse (concurrentie)verhoudingen, zowel in de kennisinfrastructuur als in het bedrijfsleven, en gegeven het Nederlandse en Europese beleid is samen optrekken vaak een aantrekkelijke strategie. Er is ook een culturele component in het geding: Nederlandse sociale verhoudingen zijn in het algemeen informeel en weinig hiërarchisch van aard.

Voorbeeld: transdisciplinariteit in het landbouwkundig onderzoek

Nederland is al geruime tijd de tweede exporteur van landbouwproducten ter wereld. Het is de thuishaven van toonaangevende bedrijven in de voedingsmiddelenindustrie. Dat is mede te danken aan de hoge kwaliteit van het Nederlandse landbouwkundig en voedingsonderzoek en aan de samenwerking die van oudsher bestaat tussen het

¹³⁷ In het advies *Boven het maaiveld* (2014) bepleit de AWTI een transformatie van NWO van een disciplinair georiënteerde naar een thematisch gerichte onderzoeksfinancier.

¹³⁸ Zie AWT (2013) *Waarde creëren uit maatschappelijke uitdagingen*, waarin de raad pleit voor een versterking van de inzet op maatschappelijke uitdagingen vanuit de kaders van het topsectorenbeleid.

bedrijfsleven en de publieke kennisinstellingen. Onderdeel daarvan is het plantkundige onderzoek zoals dat in Wageningen vorm heeft gekregen. Dit onderzoek start vanuit maatschappelijke behoeften en vertaalt deze naar de ontwikkeling van nieuwe technologie. Daarbij ligt het accent op verduurzaming van de voedselproductie en het bijdragen aan gezondheid. De plantencel wordt daarbij ingezet als een veelzijdige fabriek: de basis voor de *biobased economy*.

Voor dit onderzoek zijn ICT en in het bijzonder bio-informatica heel belangrijk, net als *genomics* en nanotechnologie. Daarbij is de blik niet meer alleen gericht op DNA, maar op de koppeling van alle aggregatieniveaus (eerder aangeduid als het micro-macroprobleem): de genen, de cel, het organisme, de omgeving, het ecosysteem en de voedselconsument. Het betekent de terugkeer van de gewasgroeimodellen waar Wageningen in de jaren tachtig wereldfaam aan ontleende, maar dan met gebruikmaking van enorme DNA-*databases*. ICT maakt ontsluiting van informatie mogelijk die tot nog toe niet in dit type onderzoek is gebruikt. Modelvorming vindt plaats op verschillende aggregatieniveaus. Centraal staan daarbij bio-interacties: de plant, zijn belagers, de ziekten, de afweer, het hele systeem. Het gaat om een complexiteitsfenomeen dat je in het onderzoek van beide kanten, van macro naar micro en van micro naar macro, moet benaderen om verder te komen. Dat dwingt onderzoeksgroepen die vroeger binnen de grenzen van hun eigen disciplines redeneerden tot meer samenwerking op de werkvloer en een transdisciplinaire aanpak.

Een dergelijke benadering, startend vanuit een maatschappelijke behoefte en een praktische opgave, kijkend vanuit een systeemperspectief, en voortgang boekend door over disciplinaire en organisatorische grenzen heen de samenwerking te zoeken, biedt een wenkend perspectief, niet alleen voor het Wageningse plantkundige onderzoek, maar voor het Nederlandse onderzoek in het algemeen. Op het gebied van landbouwkundig en voedingsonderzoek heeft Nederland een uitgangspositie die het in staat stelt uitdagingen vanuit een integraal perspectief aan te pakken. Het Nederlandse bedrijfsleven dekt vrijwel het hele expertisespectrum af: *genomics*, *genetics*, tuinbouwzaden, veredeling, teelt, fokkerij, verwerking: Nederland heeft alles in huis. Het is uniek in zijn capaciteit om miljoenen mensen in een dichtbevolkte, stedelijke delta van gezond voedsel en schoon water te voorzien.

Het vervagen van methodologische grenzen tussen wetenschappen, een meer thematische oriëntatie van de wetenschap, een door ICT ondersteunde integrale benadering van wetenschappelijke vraagstukken: al deze trends kunnen in het voordeel van de Nederlandse wetenschap uitpakken. Of in de toekomst nog grote wetenschappelijke doorbraken uit Nederland zullen komen, is gegeven de toenemende concurrentie en het stagnerende niveau van investeringen in Nederland zeer de vraag.

Het zal ons moeite kosten de mondiale ontwikkelingen bij te houden en geen 'witte vlekken' te laten ontstaan. De Nederlandse wetenschap kan zich gezien instituties en cultuur in de toekomst onderscheiden in het integraal benaderen van vraagstukken en het assembleren van kennis, zowel in het fundamentele deel van het spectrum als in de toepassing. Van belang is dat de organisatie van de wetenschap zich hierop aanpast en dat de cultuur die dit ondersteunt gekoesterd wordt.

Transdisciplinariteit in de topsectoren

De grensvervaging tussen disciplines wordt langzaamaan ook zichtbaar in de innovatiecontracten en *roadmaps* van de topsectoren. Veel wetenschappelijke en maatschappelijke problemen kunnen alleen in samenwerking met andere sectoren worden opgelost. Meestal blijft samenwerking echter hangen in een multidisciplinaire aanpak: partijen werken elk aan hun eigen deelprojecten en gebruiken elkaars resultaten om hun sectorale doelstellingen te halen. Er zijn ook voorbeelden te vinden van een transdisciplinaire benadering. Daarvan is pas sprake als grenzen tussen sectoren en vakgebieden vervagen en alle partijen vanuit een gedeeld perspectief van begin tot eind samenwerken om gezamenlijke doelstellingen te bereiken.

De topsector Creatieve Industrie is een goed voorbeeld van een sector die op een transdisciplinaire manier zijn steentje bijdraagt. Voor de creatieve industrie is het realiseren van *cross-overs* naar andere topsectoren een prioritaire doelstelling. Het wil een platform zijn waar excellente onderzoekers, creatieve ondernemers en innovatieve opdrachtgevers elkaar ontmoeten, van elkaar leren en intensief samenwerken. Voorbeelden van innovaties zijn *games* waarmee spelenderwijs aan een gezondere leefstijl wordt gewerkt, design dat bijdraagt aan het succes van hightech-uitvindingen door de beleving van gebruikers centraal te stellen, een slimme snelweg met lijnen die 's nachts licht geven, en architectuur en bouw die CO₂-neutraal zijn.

Een ander voorbeeld van sectoroverstijgende ambities is het project 'Leven met Zout'. Hierin werken de topsectoren Water en Agri&Food samen om een systematiek te ontwikkelen voor een snelle en effectieve omgang met toenemende verzilting in kustzones en delta's. De meerwaarde van dit project zit in het intelligent combineren van innovaties in deltattechnologie, watertechnologie en voedselproductie. Deze aanpak is uniek in de wereld en maakt gebruik van verschillende sterktes van Nederland: enerzijds de kracht van de Nederlandse water- en landbouwsector en anderzijds de sterke en informele netwerkcultuur in Nederland. Zoals ook 'Leven met Zout' in de beginfase heeft ervaren, is een dergelijke aanpak moeilijk en vergt het duidelijke afspraken over sturing en eigenaarschap.

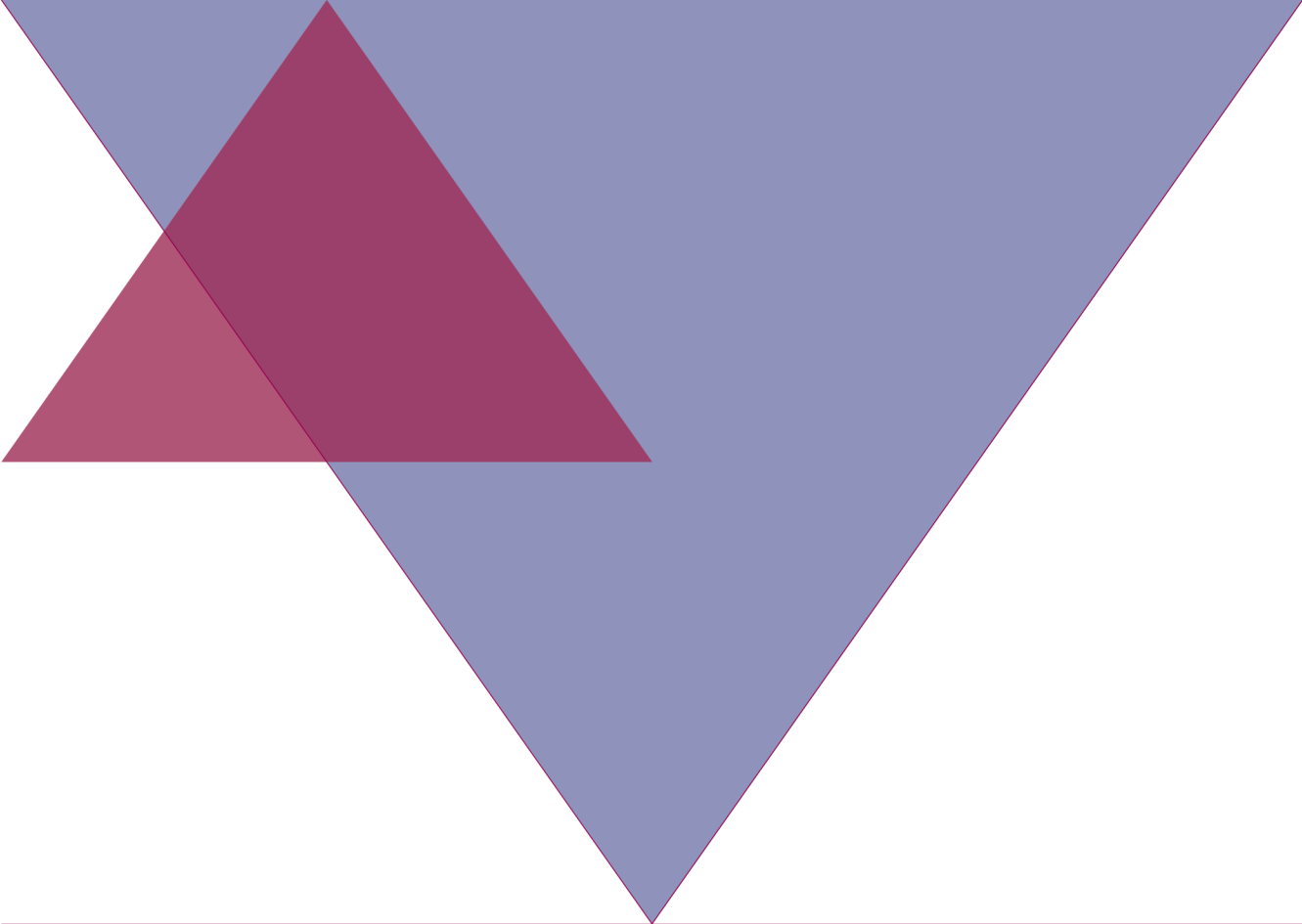
De integratie van het Nederlandse onderzoek in grensoverschrijdende netwerken

ICT maakt informatie en kennis van overal ter wereld toegankelijk. Het faciliteert interactie over geografische grenzen heen op elk gewenst moment. Dat betekent dat de beste onderzoekers de instrumenten aangereikt krijgen om de handen ineen te slaan – en dat doen ze ook. Kennisontwikkeling vindt steeds meer plaats in internationale netwerken. Deze netwerken zijn weliswaar wereldomspannend, maar daarom nog niet ongeclusuleerd open. In tegendeel, de beste netwerken zijn hoogst exclusief. Het zijn sociale netwerken die niet alleen draaien om het delen van formele kennis, maar ook en vooral van *tacit knowledge*. Ze functioneren op basis van reciprociteit: ze zijn toegankelijk voor hen die er zelf aan bijdragen en op die basis gerespecteerd worden binnen het netwerk. Juist het feit dat informatie over wetenschappelijke prestaties breed toegankelijk is, stelt deze netwerken in staat hoogst selectief te zijn.

Bijblijven in kennisontwikkeling vereist het participeren in deze netwerken. Presentie in deze sociale netwerken is essentieel voor het kennisabsorptievermogen van een land waar het gaat om de nieuwste wetenschappelijke ontwikkelingen. Dankzij deze netwerken kunnen veel Nederlandse onderzoekers tijd doorbrengen als gastonderzoeker aan topuniversiteiten elders in de wereld, zijn Nederlandse studenten welkom aan buitenlandse topinstellingen, komen buitenlandse topwetenschappers graag naar ons land om hier in projecten samen te werken, en weten Nederlandse wetenschappers relatief ruim te profiteren van Europese en Amerikaanse onderzoeksfinanciering. Nederland is van oudsher goed op internationale wetenschappelijke netwerken aangesloten, niet alleen omdat de Nederlandse e-infrastructuur van hoge kwaliteit is en deze netwerken faciliteert, maar ook omdat het zich al in een vroeg stadium op aansluiting op de Angelsaksische academische wereld heeft gericht. Nederlandse wetenschappers publiceren niet alleen hun resultaten internationaal, maar werken ook relatief veel samen met onderzoekers in andere landen. Dit draagt bij aan de goede reputatie op wetenschappelijk gebied van ons land. Het is zaak om voldoende in excellente wetenschap te blijven investeren om de aansluiting op toonaangevende, exclusieve wetenschappelijke netwerken niet kwijt te raken.¹³⁹

Het tweede deel van dit adviesrapport heeft een analyse gegeven van de gevolgen van technologische ontwikkelingen voor de structuur en het functioneren van de economie. Deze analyse is samengevat in het hoofdstuk ‘Bevindingen’ van het eerste deel van dit rapport. In dat hoofdstuk zijn ook de conclusies weergegeven die de AWTI uit de analyse trekt.

¹³⁹ Zie AWT (2014) Boven het maaiveld.



Bijlagen

Bijlage 1 Het adviesthema als beschreven in het AWTI-werkprogramma 2014

Technologische ontwikkelingen gaan razend snel. Op vele terreinen komen ontwikkelingen in een stroomversnelling of worden de komende jaren doorbraken verwacht. Het gaat hierbij onder meer om *big data*, ontwikkelingen op het gebied van (mobiel) internet, ontwikkelingen op het snijvlak van technologie en biologie, robotica, *3D-printing*, et cetera. *Enabling technologies* zijn een voorwaarde voor de vooruitgang op een groot aantal onderzoeksterreinen. *Converging technologies* veranderen de samenleving en de manier waarop we met kennis omgaan. Wat betekent *big data* voor de ontwikkeling van kennis en hoe verandert het onze perceptie van kennis? Hoe is het gesteld met de toegankelijkheid van *big data* – in hoeverre is deze aan technische beperkingen onderhevig, dan wel aan beperkingen vanwege afscherming of restrictief eigendom? Wie kan welke (commerciële) exploitatierechten doen gelden op deze datastromen? In hoeverre zijn bedrijven en kennisinstellingen geneigd data geheim te houden? Is het bedrijfsleven voldoende in staat om zich aan te passen aan veranderende technologie?

De vraag is of we voldoende voorbereid zijn op de stroomversnellingen. Springt Nederland voldoende in op deze kansen? Is het beleid en de regelgeving hier voldoende op toegesneden? Welke *21st century skills* zijn nodig om met de technologische ontwikkelingen om te kunnen gaan en hebben we die in huis? De omvang van de beschikbare hoeveelheid data in diverse lijnen van onderzoek groeit explosief. Dat is niet alleen het geval in de natuurwetenschappen, waar allerlei instrumenten enorme hoeveelheden waarnemingen genereren, maar ook in de sociale wetenschappen, waar steeds meer statistische informatie uit wereldwijd gespreide bronnen beschikbaar komt.

Bijlage 2 Gesprekspartners

Met de volgende personen is gesproken ten behoeve van het dit advies:

Nico Baken	Technische Universiteit Delft
Herm van der Beek	Ministerie van Economische Zaken
Jos Benschop	ASML
Jan van den Biesen	Philips
Hans Bongers	Ministerie van Economische Zaken
Maurice Bouwhuis	SURFsara
Eppo Bruins	STW
Hans Chang	KNAW
Richard Derksen	Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
Lianne Doeswijk	Raad voor de leefomgeving en infrastructuur
Carel-Jan van Driel	Philips
Ernst van den Ende	Wageningen University & Research centre
Jos Engelen	NWO
Koen Frenken	Universiteit Utrecht
Thomas Grosfeld	VNO-NCW
Rob Hamer	Unilever
Wilco Hazeleger	Netherlands eScience Center
Tom van der Horst	TNO
Geert Huizinga	FME
Cor Katerberg	Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
Jos Keurentjes	TNO
Monique Kremer	Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid
Coenraad Krijger	NWO
Martin Kropff	Wageningen University & Research centre
Berthold Leeftink	Ministerie van Economische Zaken
Erik van de Linde	KNAW
Niek Lopes Cardozo	Technische Universiteit Eindhoven
Amandus Lundqvist	Topsector HTSM
Karel Luyben	Technische Universiteit Delft
Bert Meijer	Technische Universiteit Eindhoven
Jan Mengelers	Technische Universiteit Eindhoven
Kees Neggers	SURF
Bart Nooteboom	KNAW
Michiel Ooms	Raad voor de leefomgeving en infrastructuur
Gerard van Oortmerssen	Universiteit Tilburg
Anwar Osseyran	SURFsara

René Penning de Vries	Team bevordering ICT-innovatie
Huibert Pols	Erasmus Universiteit Rotterdam
Marieke Pondman	Ministerie van Economische Zaken
Arnold van Rhijn	Ministerie van Economische Zaken
Wim van Saarloos	FOM
Hans Schutte	Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
Arnold Smeulders	Universiteit van Amsterdam en COMMIT/
Jeroen Timmermans	Erasmus Universiteit Rotterdam
Paul Tops	Ministerie van Economische Zaken
Marco Waas	AkzoNobel
Bert Weckhuysen	Universiteit Utrecht
Robert Went	Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid
Jasper Wesseling	Ministerie van Economische Zaken
Renée Westenbrink	Technische Universiteit Eindhoven
Anko Wiegel	NWO
Lars van Willigen	Ministerie van Economische Zaken
Marcel Wubbolts	DSM

De volgende deskundigen hebben gedurende het traject schriftelijk commentaar gegeven:

Jan van den Biesen	Philips
René Penning de Vries	Team bevordering ICT-innovatie
Fred van Roosmalen	NXP
Gerard Smit	IBM
Erik Fledderus	SURF

Tijdens een vergadering van de technologiecommissie van VNO-NCW is een conceptversie van dit rapport besproken met een afvaardiging van de projectgroep van de AWTI.

Bijlage 3 Gebruikte bronnen

- ▶ Accenture (2013) Accenture Technology Vision 2014 – Every business is a digital business.
- ▶ Acemoglu, D. en Autor, D.H. (2010) Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings, in O. Ashenfelter en D. E. Card (eds.), Handbook of Labor Economics, Volume 4B, Elsevier, Amsterdam.
- ▶ AIV (2012) Digitale oorlogvoering, advies nr. 77.
- ▶ AIV (2014) Het internet: een wereldwijde vrije ruimte met begrensde staatsmacht, advies nr. 92.
- ▶ Algemene Rekenkamer (2015) Trendrapport open data 2015.
- ▶ Ark, B. van (2014) Productivity and digitalisation in Europe: paving the road to faster growth, The Lisbon Council en The Conference Board.
- ▶ Atkinson, R.D. (2014) Choosing a future, in Issues in Science and Technology, Spring 2014, 90-92.
- ▶ Autor, D.H. (2014) Polanyi's paradox and the shape of employment growth, NBER Working Papers 20485, National Bureau of Economic Research, Inc.
- ▶ AWT (2003) 1 + 1 > 2: De bevordering van multidisciplinair onderzoek, advies nr. 54.
- ▶ AWT (2006) Opening van zaken: Beleid voor Open innovatie, advies nr. 68.
- ▶ AWT (2012) Diensten waarderen, advies nr. 79.
- ▶ AWT (2012) Kiezen voor de kennissamenleving, achtergrondstudie nr. 42.
- ▶ AWT (2013) Going Dutch, advies nr. 83.
- ▶ AWT (2013) Waarde creëren uit maatschappelijke uitdagingen, advies nr. 82.
- ▶ AWT (2014) Boven het maaiveld: Focus op wetenschappelijke zwaartepunten, advies nr. 86.
- ▶ AWT (2014) Briljante bedrijven: effectieve ecosystemen voor ambitieuze ondernemers, advies nr. 85.
- ▶ Ayden en Edgar, Dunn and Company (2014) Cross-Border Payments – Opportunities and Best Practices For Going Global.
- ▶ Bavel, B. van (2014) Vermogensongelijkheid in Nederland, de vergeten dimensie, in WRR (2014).
- ▶ Beer, P. de (2014) Groeiende beloningsverschillen in Nederland, in WRR (2014) Hoe ongelijk is Nederland? – Een verkenning van de ontwikkeling en gevolgen van economische ongelijkheid, Amsterdam University Press.
- ▶ Bresnahan, T.F. en Trajtenberg, M. (1995) General purpose technologies 'Engines of growth'?, Journal of Econometrics 65 (1), 83 – 103, Elsevier.
- ▶ Brown, Ph., Lauder, H. en Ashton, D. (2011) The Global Auction: The Broken Promises of Education, Jobs, and Incomes, New York: Oxford University Press.

- ▶ Brynjolfsson, E. en McAfee, A. (2014) *The second machine age – Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*, New York: W.W. Norton & Company.
- ▶ Brynjolfsson, E., Hitt, L.M., Kim, H.H. (2011) *Strength in Numbers: How Does Data-Driven Decisionmaking Affect Firm Performance*.
- ▶ Buchholtz, S., Bukowski, M. en Sniegocki, A. (2014) *Big and open data in Europe – A growth engine or a missed opportunity?*, Warsaw Institute for Economic Studies.
- ▶ Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014) *The new High-Tech Strategy – Innovations for Germany*.
- ▶ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014) *Digital Agenda 2014-2017*.
- ▶ Chakravorti, B., Tunnard, C., Chaturvedi, R.S. (2015) *Digital Planet: Ready for the Rise of the e-Consumer*, Institute for Business in the Global Context, The Fletcher School at Tufts University.
- ▶ Chang, H.-J. (2011) *23 Things they don't tell you about capitalism*, Penguin.
- ▶ Choi, B.C.K. en Pak, A.W.P. (2006) *Multidisciplinarity, interdisciplinarity and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 1. Definitions, objectives, and evidence of effectiveness*, *Clinical and Investigative Medicine*, 29: 351-364.
- ▶ Commission sous la présidence d'Anne Lauvergeon (2013) *Un principe et sept ambitions pour l'innovation*.
- ▶ COMMIT (2014) *The big future of data – Golden demo's of COMMIT*.
- ▶ Cowen, T. (2011) *The Great Stagnation – How America ate all the low-hanging fruit of modern history, got sick, and will (eventually) feel better*.
- ▶ Centraal Planbureau (2012) *Loonongelijkheid in Nederland stijgt*, Ter Weel, B., CPB Policy Brief 2012/06.
- ▶ Centraal Planbureau (2015) *Baanpolarisatie in Nederland – Middensegment onder druk*, Van den Berge, W., Ter Weel, B., CPB Policy Brief 2015/13.
- ▶ Centraal Planbureau en Sociaal en Cultureel Planbureau (2015) *De onderkant van de arbeidsmarkt in 2025*.
- ▶ Cukier, K.N., Mayer-Schoenberger, V. (May / June 2013) *The rise of big data – How it's changing the way we think about the world*, *Foreign Affairs*.
- ▶ David, P.A. (1989) *Computer and dynamo: the modern productivity paradox in a not-too-distant mirror*, Stanford University, CEPR Discussion Paper no. 172.
- ▶ Davies, A., Fidler, D. en Gorbis, M. (2011) *Future work skills 2020*, Institute for the Future.
- ▶ Delft University of Technology, Eindhoven University of Technology, University of Twente, TNO, Wageningen University & Research centre, STW (2015) *Agenda voor Nederland – Inspired by technology*.
- ▶ Department of Energy (2012) *From quanta to the continuum: opportunities for mesoscale science*.
- ▶ Dialogic (2014) *De impact van ICT op de Nederlandse economie*.

- ▶ Dialogic (2014) Wetenschaps, Technologie & Innovatie Indicatoren 2014, Resumé WTI².
- ▶ Dialogic (2015) Big Data in onderwijs en wetenschap – Inventarisatie en essays.
- ▶ Diederer, P.J.M. (2013) Ervaringen met bedrijvenbeleid, WRR-webpublicatie 73.
- ▶ Doorn, M. (2006) Converging technologies – Innovation patterns and impacts on society, STT.
- ▶ EU-factsheet 'Why we need a Digital Single Market'.
- ▶ European Commission (2015) A digital single market strategy for Europe, COM(2015) 192 final.
- ▶ European Commission (2015) EU-factsheet 'Why we need a Digital Single Market'.
- ▶ European Digital Forum (2014) Digital Minds for a New Europe, The Lisbon Council.
- ▶ European Parliamentary Research Service (2015) Ten technologies which could change our lives: Potential impacts and policy implications.
- ▶ European Strategy and Policy Analysis System (2013) The global economy in 2030: trends and strategies for Europe.
- ▶ Europese Commissie (2009) Voorbereiden van onze toekomst: ontwikkeling van een gemeenschappelijke strategie voor sleuteltechnologieën in de EU, COM(2009)512.
- ▶ Europese Commissie (2012) Een Europese strategie voor sleuteltechnologieën – een brug naar groei en banen, COM(2012)341.
- ▶ Europese Commissie (2015) Digital Agenda for Europe – A Europe 2020 Initiative,
- ▶ FME et al. (2014) Actieagenda Smart Industry – Dutch industry fit for the future.
- ▶ FME et al. (2014) Smart Industry – Dutch industry fit for the future.
- ▶ Foray, D. (2004) The economics of knowledge, Cambridge, MA: The MIT Press.
- ▶ Freeman, C. en Perez, C. (1988) Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour, in 'Technical change and economic theory, Pinter Publishers, London & New York, 38-66.
- ▶ Freeman, C. en Soete, L. (1987), Technical Change and Full Employment, Basil Blackwell, London.
- ▶ Freeman, R. (2014) Who owns the robots rules the world, IZA World of Labor 2014 (5), 1-10.
- ▶ Frey, C.B. en Osborne, M.A. (2013) The future of unemployment: how susceptible are jobs to computerisation?.
- ▶ Goldin, C. en Katz, L.F. (2008) The race between education and technology, Harvard University Press.
- ▶ Goos, M., Manning, A., Salomons, A. (2014) Explaining job polarization: routine-based technological change and offshoring, American economic Review, 104 (8), 2509 – 2526.
- ▶ Gordon, R.J. (2012) Is US economic growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds, CEPR Policy Insight no. 63.

- ▶ Government Office for Science, Foresight, United Kingdom (2012) Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s– 2012 Refresh.
- ▶ Gray, J. (2009), in Hey, T., Tansley, S. and Tolle, K. (eds.) The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery, Microsoft Research.
- ▶ Hall, P.A. en Soskice, D. (2001) An introduction to varieties of capitalism, in 'Varieties of capitalism – the institutional foundations of comparative advantage, Oxford University Press, 1-68.
- ▶ High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies (2011) Final report, European Commission.
- ▶ High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies (2011) Transdisciplinarity, social acceptance and innovative regions, European Commission.
- ▶ High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies (2013) Key enabling technologies – Status implementation report, European Commission.
- ▶ ICT-onderzoek Platform Nederland (2009) ICT Masterplan – ICT, fundament voor welvaart en welzijn in Nederland.
- ▶ ICT-onderzoek Platform Nederland (2013) The scientific answer to the roadmap ICT for the top sectors.
- ▶ ICTRegie (2008) Towards a competitive ICT infrastructure for scientific research in The Netherlands.
- ▶ ICTRegie (2009) ICT2030.nl – ICT-agenda voor de toekomst van Nederland.
- ▶ ICT-research Platform Netherlands (2014) The Scientific Answer to the Roadmap ICT for the Top Sectors.
- ▶ ING Economisch Bureau (2015) Hightech meets business – De economische impact van technologie voor sectoren, organisaties en mensen.
- ▶ Intellectual Property Office, United Kingdom (2014) Eight Great Technologies. A summary of the series of patent landscape reports.
- ▶ International Labour Organisation (2015) World Employment Social Outlook – The changing nature of jobs.
- ▶ International Telecommunication Union (2013) Measuring the Information Society.
- ▶ Juncker, J.-C. (2014) A New Start for Europe: My Agenda for Jobs, Growth, Fairness and Democratic Change – Political Guidelines for the next European Commission.
- ▶ Keynes, J.M. (1930) Economic Possibilities for our Grandchildren.
- ▶ Klein, J. T. (2010) A taxonomy of interdisciplinarity, in R. Frodeman, J.T. Klein, & C. Mitcham (Eds.) Oxford handbook of interdisciplinarity, Oxford University Press.
- ▶ Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (2012) Digitale geletterdheid In het voortgezet onderwijs – Vaardigheden en attitudes voor de 21ste eeuw.
- ▶ Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (2015) Ruimte voor ongebonden onderzoek – Signalen uit de Nederlandse wetenschap.

- ▶ Kreijveld, M. (2014) De kracht van platformen – Nieuwe strategieën voor innoveren in een digitaliserende wereld, Rathenau Instituut / Vakmedianet.
- ▶ Krugman, P. (2012) Rise of the Robots, New York Times blog.
- ▶ Kuipers, B. (2014) De container is de beste uitvinding van de laatste 100 jaar, in Koninklijke Hollandse Maatschappij der Wetenschappen, Prijsvraag 2014, bekroonde essays.
- ▶ Levy, F. en Murnane, R.J., (2013) Dancing with robots – Human skills for computerized work, Third Way, Next.
- ▶ Lundqvist, A., Apers, P., Smeulders, A., Huizer, E. en Mandersloot, P. (2012) 'Roadmap ICT for the Top Sectors.
- ▶ Marin, D. (2014) Globalisation and the rise of the robots, VoxEU.
- ▶ McKinsey Global Institute (2011) Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity.
- ▶ McKinsey Global Institute (2013) Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy.
- ▶ McKinsey Global Institute (2015) The internet of things: Mapping the value beyond the hype.
- ▶ Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (2013) Stand van zaken open data, kamerbrief minister Plasterk.
- ▶ Ministerie van Buitenlandse Zaken (2014) Versterking van de positie van Nederland in mondiale waardeketens, kamerbrief minister Ploumen.
- ▶ Ministerie van Economische Zaken (2013) Actualisatie Digitale Agenda.nl, kamerbrief minister Kamp.
- ▶ Ministerie van Economische Zaken (2013) Doorbraken met ICT – Het benutten van de economische kansen van ICT, beleidsbrief minister Kamp.
- ▶ Ministerie van Economische Zaken (2013) Kabinetsplan aanpak administratieve lasten, brief minister Kamp, Kamerstuk 29 515, nr. 346.
- ▶ Ministerie van Economische Zaken (2014) Ambitieuze ondernemerschap, een agenda voor startups en groeiers, kamerbrief minister Kamp.
- ▶ Ministerie van Economische Zaken (2014) Beantwoording van Kamervragen over alternatieve taxidienst Uber, kamerbrief minister Kamp.
- ▶ Ministerie van Economische Zaken (2014) Big data en profilering in de private sector, kamerbrief minister Kamp.
- ▶ Ministerie van Economische Zaken (2014) Instellingsbesluit bevorderen ICT-innovatie, Staatscourant nr. 28095, 1 oktober 2014.
- ▶ Ministerie van Economische Zaken (2014) Rijksbegroting 2015.
- ▶ Ministerie van Economische Zaken (2015) Actieagenda Smart Industry, kamerbrief minister Kamp.
- ▶ Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (2011) Digitale Agenda.nl – ICT voor innovatie en economische groei.

- ▶ Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (2011) Kwaliteit in verscheidenheid – Strategische Agenda Hoger Onderwijs, Onderzoek en Wetenschap.
- ▶ Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (2014) 43 punten uit Agenda StartUpNL, kabinetsreactie.
- ▶ Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (2014) Leven lang leren, kamerbrief ministers Bussemaker en Asscher.
- ▶ Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (2014) Wetenschapsvisie 2025: keuzes voor de toekomst.
- ▶ Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (2015) Uitvoering motie Van Meenen / Vos over SURF, kamerbrief ministers Bussemaker en Kamp en staatssecretaris Dekker.
- ▶ Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (2014) Effect van technologische ontwikkelingen op de arbeidsmarkt, brief ministers Asscher, Kamp en Bussemaker, Kamerstuk 29 544, nr. 581.
- ▶ Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (2014) Toespraak van minister Asscher tijdens het SZW-congres 'Robotisering: kansen voor morgen', 29 september 2014.
- ▶ MIT (2011) The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and Engineering.
- ▶ Mokyr, J. (2013) Is technological progress a thing of the past?, VOXEU.
- ▶ National Science Foundation (2003) Converging Technologies for Improving Human Performance – Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science, Kluwer Academic Publishers.
- ▶ Nesta (2014) Our work here is done – Visions of a robot economy.
- ▶ Nonaka, I. en Takeuchi, H. (1995) The knowledge creating company, Oxford University Press.
- ▶ NRC (2014) Miljoeneninvestering voor Blendle, 26 oktober 2014.
- ▶ NWO (2015) NWO Strategie 2015 – 2018.
- ▶ OECD (2014) Data-driven innovation for growth and well-being.
- ▶ Oortmerssen, G. van (2012) ICT: een disruptieve technologie, in: Prins, C., Vedder, A., Zee, F. van der (red.) Jaarboek ICT en Samenleving 2012 – De transformerende kracht van ICT.
- ▶ Osseyran A. en Vermeend W. (2014) De revolutie van big data – Een verkenning van de ingrijpende gevolgen, Einstein Books.
- ▶ Paul David (1989) Computer and dynamo: the modern productivity paradox in a not-too-distant mirror, CEPR.
- ▶ Perez, C. (2009) Technological revolutions and techno-economic paradigms, Cambridge Journal of Economics Volume 34, Issue 1, pp. 185-20.
- ▶ Piketty, Th. (2014) Capital in the 21st century, Harvard University Press.
- ▶ Policy Exchange (2013) Eight Great Technologies, door David Willetts.

- ▶ Porter, M.E., Heppelmann, J.E. (2014) How smart, connected products are transforming competition, Harvard Business Review, November 2014.
- ▶ Rathenau Instituut (2015) Werken aan de robotsamenleving – Visies en inzichten uit de wetenschap over de relatie technologie en werkgelegenheid, R. van Est en L. Kool (red.).
- ▶ Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur (2015) Verkenning technologische innovaties in de leefomgeving.
- ▶ Rodrik, D. (2015) From welfare state to innovation state, Project Syndicate.
- ▶ Sol, E.-J. (2014) Innovatie tussen maatschappij en wetenschap, inaugurele rede, Radboud Universiteit Nijmegen.
- ▶ Stiglitz, J. (2012) The price of inequality, New York & London: W.W. Norton & Company.
- ▶ Stiglitz, J. en Greenwald, B. (2012) Creating a learning society. A new approach to growth, development and social progress, Columbia University Press, New York.
- ▶ SURF (2013) De impact van de e-infrastructuur op de Nederlandse kenniseconomie.
- ▶ SURF (2014) SURF Meerjarenplan 2015 – 2018.
- ▶ SURFnet (2013) 25 jaar innovatie – innovatieverslag.
- ▶ Technopolis en Dialogic (2010) Evaluatie ICTRegie – Eindrapportage.
- ▶ The Economist (2010) Digital economy rankings 2010, Economist Intelligence Unit.
- ▶ The Economist (2011) The government broadband index Q1 2011, Economist Intelligence Unit.
- ▶ The Economist (2014) The world economy, special report.
- ▶ The Fletcher School, Tufts University (2014) Digital Planet: Ready for the Rise of the e-Consumer.
- ▶ The U.S. Chamber of Commerce Foundation (2014) The future of data-driven innovation.
- ▶ Topsector HTSM (2013) Innovatiecontract 2014-2015 High Tech Systemen en Materialen.
- ▶ Tweede Kamer (2014) Parlementair onderzoek naar ICT-projecten bij de overheid, rapport van de tijdelijke commissie ICT-projecten bij de overheid (Commissie Elias), 33 326, nr. 5.
- ▶ Tweede Kamer (2015) Gewijzigde motie van de leden Van Meenen en Mei Li Vos [...], 31 288, nr. 431.
- ▶ Volkskrant (2014) Nederlandse Peerby krijgt 1,7 miljoen euro van buitenlandse investeerders, 29 oktober 2014.
- ▶ VRWI (2014) Vlaanderen in transitie, prioriteiten voor wetenschap, technologie en innovatie voor 2025.
- ▶ Went, R. (2014) Inkomensongelijkheid en groei, in M. Kremer, M. Bovens, E. Schrijvers en R. Went (red.) Hoe ongelijk is Nederland? Een verkenning van de

- ontwikkeling en gevolgen van economische ongelijkheid, Amsterdam: Amsterdam University Press.
- ▶ World Economic Forum (2015) The Global Information Technology Report 2015: ICTs for Inclusive Growth.
 - ▶ WRR (2008) Innovatie vernieuwd – Opening in viervoud, Amsterdam: Amsterdam University Press.
 - ▶ WRR (2013) Naar een lerende economie, Amsterdam: Amsterdam University Press.
 - ▶ WRR (2014) Hoe ongelijk is Nederland? Een verkenning van de ontwikkeling en gevolgen van economische ongelijkheid, Kremer, M., Bovens, M., Schrijvers, E. en Went, R. (red.), Amsterdam: Amsterdam University Press.
 - ▶ WRR (2015) De publieke kern van het internet – Naar een buitenlands internetbeleid, Amsterdam: Amsterdam University Press.

Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie

Javastraat 42

2585 AP Den Haag

t. 070 31 10 920

e. secretariaat@awti.nl

w. www.awti.nl