

Artificiële intelligentie als een general purpose technology

Strategische belangen en verantwoorde
inzet in historisch perspectief

Sjoerd Bakker
Pim Korsten

WRR



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

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid

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

Vormgeving: Ready for take-off, Den Haag
Working Paper nummer 41

E-ISBN 978 94 901 86 876

© Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid,
Den Haag 2020

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

Artificiële intelligentie als een general purpose technology

Strategische belangen en verantwoorde
inzet in historisch perspectief

Sjoerd Bakker
Pim Korsten

WRR

Ten geleide

WRR Working Paper *Artificiële Intelligentie als een general purpose technology* is geschreven door Sjoerd Bakker en Pim Korsten van Freedomlab.

In dit Working Paper verkennen de auteurs in welke mate AI als een general purpose technology gezien kan worden en onderscheiden zij patronen ten aanzien van eerdere technologieën van dit type, te weten de stoommachine, elektriciteit, de verbrandingsmotor en informatietechnologie.

Het onderzoek is op 6 oktober 2020 afgerond.

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

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

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

Inhoudsopgave

	Ten geleide	5
	Samenvatting	9
1	Inleiding	12
2	Artificiële intelligentie als general purpose technology	14
2.1	General purpose technologies	15
2.2	De verwachte impact van AI	17
3	GTP's uit het verleden	20
3.1	De stoommachine	21
3.2	Elektriciteit	26
3.3	De verbrandingsmotor	36
3.4	Informatietechnologie	41
4	Analyse van de historische cases	52
4.1	Het strategisch belang van technologie en first-mover-voordelen	52
4.2	Maatschappelijke inbedding	56
5	Implicaties voor artificiële intelligentie	61
	Literatuur	71

Samenvatting

De opkomst van Artificiële Intelligentie (AI) gaat gepaard met grote beloften ten aanzien van de economische en ook maatschappelijke potentie van deze technologie. Tegelijkertijd leven er ook grote zorgen over de maatschappelijke impact van de technologie op korte en lange termijn. Deze combinatie van hoop en angst wordt vaak vertaald in een dilemma waarin we moeten kiezen tussen enerzijds investeren in de technologie en deze zo snel mogelijk inzetten en anderzijds meer terughoudewaarbij voorzichtigheid voorop staat. Dit dilemma wordt verder onder druk gezet door de notie dat andere landen eenduidig kiezen voor de ontwikkeling en inzet van AI, dat AI zelfs een wereldwijde “race” is, en zich veel minder laten ‘remmen’ door zorgen over maatschappelijke impact. Wanneer wij te lang te voorzichtig zijn, zo luidt de gedachte, lopen we het risico achterop te raken in termen van economische, maar ook militair-strategische, capaciteit.

Het is echter de vraag of dit dilemma wel een juiste weergave van de werkelijkheid is. Is het risico van achterop raken echt zo groot en wat kunnen de werkelijke gevolgen zijn? En, misschien nog wel belangrijker, schuilt er uiteindelijk niet veel meer (economische en maatschappelijke) waarde in een verantwoorde ontwikkeling en inzet van AI, in lijn met onze eigen waarden en normen?

AI in historisch perspectief

In dit Working Paper onderzoeken hoe samenlevingen in het verleden omgingen met dit (schijnbare) dilemma rondom soortgelijke technologieën. Meer concreet stellen we hierbij twee vragen. Ten eerste de vraag in hoeverre initieel technologisch leiderschap resulteerde in een significant economisch en strategisch voordeel. Ten tweede welke invloed het maatschappelijk debat rond deze technologieën had op hun maatschappelijke inbedding?

Voor dit historisch vergelijkende onderzoek veronderstellen we dat AI een zogenaamde General Purpose Technologie (GPT) is. Dat wil zeggen dat deze technologie ten grondslag ligt, en zal liggen, aan een groot aantal producten, processen en diensten in de volle breedte van de economie. Op basis van deze kwalificatie kunnen we AI vergelijken met andere grote, disruptieve, technologieën uit het verleden; de stoommachine, elektriciteit, de verbrandingsmotor en informatietechnologie.

Technologisch leiderschap is relatief

Bij geen van de vier onderzochte technologieën was er sprake van doorslaggevend technologisch leiderschap. Dat wil zeggen dat de ontwikkeling van een technologie ofwel in een internationale (wetenschappelijke) context plaatsvond en geen enkel land een uitgesproken voorrangspositie innam

(zoals bij elektriciteit, de verbrandingsmotor of, in mindere mate, informatie-technologie), ofwel dat leidende landen uit commerciële of internationale politieke belangen (zoals Europese eenwording) de technologie beschikbaar stelden aan anderen. Zo liep Engeland ver voorop bij de ontwikkeling van de stoommachine, maar was het wel bereid de technologie te verkopen aan andere landen, die bovendien in staat bleken de technologie verder door te ontwikkelen. De mate waarin landen de technologie snel en succesvol inzet werd, werd daarnaast niet zozeer bepaald door een initiële kennisvoorsprong maar vooral door ondersteunend beleid, het geopolitieke klimaat en de relatie tot andere landen. Hierbij gold uiteraard wel dat bevriende landen eerder toegang kregen tot technologie (bijvoorbeeld op basis van licenties) dan vijanden.

Maatschappelijke inbedding van technologie

Elk van de vier technologieën is ontvangen met een mengeling van bewondering en afgrijzen. Enerzijds circuleerden er utopische beloften van vrijheid, welvaart en modernisering, anderzijds angstbeelden dat de technologie de huidige maatschappij en manier van leven diepgrondig zou ontwrichten, bestaande ongelijkheid zou versterken en dat nieuwe partijen een ongebreidelde macht krijgen. Deze dialectiek leidde steeds tot een maatschappelijk debat over de rol die technologie zou moeten spelen in de samenleving en hoe deze gereguleerd kon en moest worden. Hierbij zien we overigens wel dat de echte problemen, en de aanpak daarvan, pas in beeld kwamen nadat de technologie al langer in gebruik was. Veel van die problemen bleken overkomelijk, dankzij beleid en adaptie van burgers en consumenten. Daarmee kunnen we een onderscheid maken tussen directe en indirecte problemen van de diffusie en adoptie van de GPT door de samenleving en economie.

Implicaties van historische cases voor AI

Een relativisering van leiderschap in AI

De notie van technologisch leiderschap in AI verdient eenzelfde relativisering als we hebben gezien in de geschiedenis. De ontwikkeling van AI vindt wereldwijd plaats en bovendien bevindt veel kennis, en toepassingen, zich in het open-source domein (zowel binnen de wetenschap als in het bedrijfsleven). Bovendien maakt de gelaagde structuur van deze technologie (bestaande uit combinaties van hardware, software en data) en de verschillende benaderingen het lastiger om een eenduidige technologische machtspositie op te bouwen. Echter, een belangrijk voorbehoud hierbij is wel dat de kwaliteit van een AI oplossing zo goed is als de data waarmee deze getraind is. Dit betekent dat een vroege voorsprong in technologieontwikkeling, en een reeds gedigitaliseerde economie met data-verzameling, een zelfversterkend (en netwerk-) effect kan

hebben. Wanneer het ontwikkelende land vervolgens niet bereid is deze data ter beschikking te stellen (of wanneer deze niet relevant is), zullen anderen moeite hebben deze achterstand in te lopen.

Maatschappelijke inbedding

Voor zover AI inderdaad vergelijkbaar is met de historische GPT's is er geen reden om deze technologie zonder meer de omarmen uit angst om internationaal achterop te geraken. Bovendien zijn we dankzij ons historisch bewustzijn beter dan vroeger in staat om een constructief maatschappelijk debat aan te gaan over de vraag hoe en voor welke doeleinden we AI willen inzetten. Daarin lopen we ook voor op de chronologie waarin het debat veelal pas breed gevoerd werd op het moment dat de technologie al ruimschoots toegepast werd (en de maatschappelijke gevolgen ook duidelijk zichtbaar waren). Of dit ook betekent dat we daadwerkelijk meer grip hebben op inbedding van de technologie (en de randvoorwaarden die we daar aan stellen) en daardoor ook 'betere' technologie zullen ontwikkelen, blijft echter nog wel een vraag. Dit hangt mede af van de vraag in hoeverre samenleving in staat zijn om invloed uit te oefenen op de bedrijven die momenteel leidend zijn in de ontwikkeling van concrete toepassingen van AI.

Implicaties

Op basis van de historische cases zouden we kunnen concluderen dat we ons, met betrekking tot het al dan niet ontwikkelen en toepassen van AI, niet moeten laten leiden door de angst om internationaal achterop te geraken; de geschiedenis laat tenslotte zien dat zo'n achterstand over het algemeen beperkt en tijdelijk van aard is. Er is dus niet noodzakelijk een afruil tussen het behalen van een technologische voorsprong en een moreel-maatschappelijk verantwoorde inzet. Deze geruststelling biedt ruimte om na te denken over, en te experimenteren met, maatschappelijk wenselijke vormen en toepassingen van deze technologie. Een degelijke maatschappelijke inbedding, gericht op specifieke doelstellingen en op basis van eigen waarden en normen, kan op termijn zelfs een strategisch voordeel opleveren, juist omdat dit de kansen op brede en succesvolle adoptie van de technologie vergroot.

1 Inleiding

De ontwikkeling van artificiële intelligentie (AI) gaat gepaard met grote beloften en zo mogelijk nog grotere angstbeelden. De belofte van AI is dat zij door de gehele maatschappij heen slimmere en efficiëntere processen oplevert en dat wij daar in ons dagelijks leven van zullen profiteren, in de vorm van goedkopere en betere goederen en diensten. Angstbeelden variëren van algehele werkloosheid doordat robots ons werk overnemen tot volledige overheersing van de mensheid door kunstmatige vormen van leven. Een bijkomend angstbeeld komt voort uit de overtuiging dat deze technologie van een dusdanig groot strategisch belang is, zowel militair als economisch, dat het onverantwoord is om niet mee te gaan in de ontwikkeling ervan. Tezamen worden deze angstbeelden vaak vertaald naar een dilemma tussen enerzijds het afwijzen van deze technologie vanwege haar maatschappelijke risico's en anderzijds het (ongeremd) ontwikkelen van de technologie, ongeacht de maatschappelijke impact, om internationaal niet achterop te raken.

Mogelijk is dit echter een vals dilemma. Zo is het bijvoorbeeld nog maar de vraag in hoeverre een meer gecontroleerde ontwikkeling van AI-technologie noodzakelijk tot een onoverbrugbare achterstand zal leiden. Bovendien is het onduidelijk of ongebreidelde ontwikkeling en inzet van artificiële intelligentie tot de 'beste' resultaten leidt in termen van economische, strategische of maatschappelijke uitkomsten.

In dit Working Paper gaan we op zoek naar historische antecedenten van dit schijnbare, dus mogelijk valse, dilemma. Niet omdat de geschiedenis zich noodzakelijkerwijs herhaalt, maar omdat ze handvatten biedt om na te denken over de strategische en maatschappelijke dimensie van de ontwikkeling en inbedding van technologie. Hiertoe onderzoeken we de geschiedenis van een aantal grote technologieën uit het verleden die, voor wat betreft hun economische en maatschappelijke impact, vergelijkbaar zijn met AI. Meer specifiek schetsen we hoe de stoommachine, elektriciteit, de verbrandingsmotor en informatie-technologie (IT) zich hebben ontwikkeld, hoe ze maatschappelijk ingebed zijn geraakt, en in hoeverre technologisch leiderschap daadwerkelijk van strategisch belang is geweest. Daarnaast bestuderen we het maatschappelijk debat rond deze technologieën in de tijd waarin ze opkwamen en toegepast werden.

Met andere woorden, we laten zien hoe mensen indertijd aankeken tegen deze technologieën en welke hoop of angst ze aanwakkerden, en hoe men omging met maatschappelijke en morele problemen die deze technologieën veroorzaakten (hoofdstuk 3). Vervolgens trekken we lessen uit deze historische inzichten wat betreft het technologisch leiderschap en de maatschappelijke inbedding van de technologieën, die we kunnen relateren aan de huidige ontwikkeling van en discussies over AI (hoofdstuk 4). Tot slot schetsen we welke implicaties deze lessen hebben voor het Nederlandse, en internationale, beleid met betrekking tot AI (hoofdstuk 5). Ailereerst gaan we echter dieper in op de vraag wat AI precies is en waarom we verwachten dat AI daadwerkelijk te vergelijken is met de genoemde technologieën uit het verleden. Dit doen we aan de hand van het begrip *general purpose technology*.

2 Artificiële intelligentie als general purpose technology

Om artificiële intelligentie (AI) op waarde te kunnen schatten, en haar strategische en maatschappelijke dimensie te verkennen, moeten we eerst begrijpen wat AI is en waarmee we haar, in historisch opzicht, kunnen vergelijken. AI is bijvoorbeeld geen *single purpose*-technologie met een min of meer vastomlijnde toepassing, zoals een trein of een televisie. AI bestaat uit een verzameling van hardware en software die in een gelaagde structuur, een *stack* – bestaande uit (gespecialiseerde) chips, algoritmes en (trainings)data – samenwerken om statistische problemen op te lossen, zoals descriptieve statistiek, lineaire classificaties, inferenties of *deep learning*. Op zich klinkt dit niet erg spannend, maar het is belangrijk om te begrijpen dat veel problemen in wezen statistische vraagstukken zijn. Denk bijvoorbeeld aan het herkennen van objecten op foto's, het analyseren van spraak en schrift, het aansturen van robots en het voorspellen van gedrag. De Europese Commissie hanteert daarom als formele definitie van AI: “systems that display intelligent behaviour by analysing their environment and taking actions – with some degree of autonomy – to achieve specific goals.”¹ Deze definitie wordt ook gebruikt in het Strategisch Actieplan voor Artificiële Intelligentie van de Rijksoverheid.²

Het gebruik van statistische (stochastische) modellen in plaats van voorgeprogrammeerde regels is dan ook wat AI onderscheidt van conventionele IT, waarin digitale systemen een vast en eindig aantal stappen uitvoeren op basis van vooraf gegeven doelstellingen en instructies. Een andere onderscheidende factor is de (vooralsnog beperkte) mate van autonomie van AI. AI heeft namelijk zelf agentschap en kan eigen inzichten ‘actualiseren’ in de werkelijkheid die niet voorgeprogrammeerd zijn. Zo kan AI bijvoorbeeld leren hoe je het beste een spel kan spelen, of nieuwe materialen ontdekken. Met andere woorden, AI is een verzameling van hardware en analysetechnieken en -principes die ten grondslag (kunnen) liggen aan een schier eindeloze verzameling van concrete (dat wil zeggen: *single purpose*) toepassingen, zoals gezichtsherkenning, data-analyse en robotica. Dit is dan ook het ‘algemene’ (*general*) karakter van AI: haar technieken kunnen worden ingezet om een brede waaier aan objecten, producten, diensten of ideeën ‘slimmer’ te maken.

Gezien de brede toepassingsmogelijkheden kunnen we aannemen dat de potentiële economische en maatschappelijke impact van een technologie als AI vele malen groter zal zijn dan van een *single purpose*-technologie. Hetzelfde geldt voor het strategisch belang dat landen en bedrijven aan zo'n technologie zullen toekennen, en voor de maatschappelijke en morele vragen die ze oproept.

1 European Commission 2018.
2 EZK 2019.

2.1 General purpose technologies

In het verleden hebben we vaker dit type technologieën met brede toepassingsmogelijkheden zien opkomen. Met name historici en economen hebben de vraag gesteld of we deze technologieën als een ‘buitencategorie’ kunnen beschouwen, en zo ja, of er algemeen geldende uitspraken gedaan kunnen worden over hun economische en/of maatschappelijke belang.³ De eerste concrete ideeën hierover vinden we terug in de notie van Kondratieff-golven, en meer specifiek in het werk van Schumpeter,⁴⁵ die (radicale) technologische innovatie aanvoerde als verklaring voor deze macro-economische golfbewegingen.⁶ Meer recent hebben auteurs zoals Chris Freeman⁷ en Carlota Perez⁸ nader onderzoek gedaan naar de aard van technologische revoluties en het belang van specifieke technologieën daarin. In deze benadering gaat er een grote disruptieve en transformatieve kracht uit van technologische innovaties, die tot uitdrukking komt in allerlei afgeleide effecten die zich verspreiden door de economie en samenleving in haar geheel.

In de meer formele economische wetenschappen wordt sinds de jaren negentig het begrip *general purpose technology* (GPT) gebruikt voor dit type ‘kerntechnologieën’: technologieën die een zeer brede toepassing vinden in vrijwel de gehele economie en samenleving, en die ten grondslag liggen aan allerlei afgeleide innovaties.⁹ De oorsprong van dit begrip ligt in de vraag hoe de impact van informatietechnologie (IT) op economische groei en productiviteit begrepen kan worden.¹⁰ Breed erkende voorbeelden van GPT’s zijn de stoommachine, elektriciteit en de verbrandingsmotor. Van elk van deze technologieën kan gesteld worden dat ze een ware revolutie teweeggebracht hebben, zowel op het gebied van macro-economische ontwikkeling als in ons dagelijks leven.¹¹

-
- 3 Rosenberg en Trajtenberg (2004) spreken ook wel over *epochal innovations: technologieën die een tijdperk definiëren*.
- 4 Schumpeter maakte in het model van Kondratieff de ondernemer en innovator de katalysator van de nieuwe cyclus. Omgekeerd zijn neerwaartse fasen het gevolg van het uitdoven van innovatie en accumulatie van speculatief, niet-productief kapitaal. Crises zijn daarom voor Schumpeter noodzakelijk om de ‘creatieve vernietiging’ van oude, ondoelmatige bedrijfsmodellen te bewerkstelligen.
- 5 Schumpeter 1912.
- 6 Silverberg 2003.
- 7 Freeman en Louça 2001.
- 8 Perez (2002) spreekt van een ‘technologisch-economisch paradigma’, waarin een nieuwe, revolutionaire technologische innovatie nieuwe bedrijfsmodellen en toepassingen mogelijk maakt. Innovators vinden uit, financiers speculeren en er ontstaat een crisis, waarna de staat moet ingrijpen om een ‘gouden tijdperk’ te realiseren. Volgens Perez komt er daarom in de jaren 2020 een nieuw ‘gouden tijdperk’ voor IT, biotechnologie, en groene energie.
- 9 Bresnahan en Trajtenberg 1992 which we call General Purpose Technologies (GPT’s).
- 10 Helpman en Trajtenberg 1994.
- 11 Bakker 2017.

Logischerwijs worden deze technologieën, vaak in combinatie met andere technologieën,¹² ook verantwoordelijk gehouden voor de eerdergenoemde Kondratieff-golven.

In de literatuur bestaat geen eenduidige consensus over het nut en de bruikbaarheid van het begrip GPT's¹³ en Kondratieff-golven in het algemeen.¹⁴ Bovendien zijn er verschillende definities in omloop.¹⁵ Waar sommige auteurs slechts enkele GPT's erkennen, gaan andere uit van veel ruimere definities en bestempelen zij ook enkele premoderne technologieën (zoals de domesticatie van dieren of de productie en verwerking van brons) en meer concrete toepassingen (bijvoorbeeld stoomschepen) als GPT.

Degenen die een ruime definitie van GPT hanteren doen dit omdat ze niet op voorhand, en op basis van min of meer arbitraire criteria, een technologie willen uitsluiten die mogelijk een vergelijkbare impact heeft gehad.¹⁶ Denk hierbij aan de drukpers of het stoomschip, twee technologieën die niet voldoen aan de nauwere definities van een GPT, maar die wel een enorme impact hebben gehad.¹⁷ Lipsey et al.¹⁸ identificeren maar liefst 24 GPT's en Alexander Field¹⁹ komt zelfs tot 28 GPT's die in de literatuur zijn geïdentificeerd. Door vergelijkend onderzoek komt hij echter tot de *Big Three* technologische innovaties die door de gehele literatuur als GPT worden aangemerkt: stoom, elektriciteit en IT. Wel merkt hij op dat de criteria van een GPT niet altijd consistent worden toegepast, dat de

12 Een GPT is in zichzelf vaak al een combinatie van technologieën en concepten. Zo is elektriciteit als GPT gebaseerd op (wetenschappelijke) kennis, specifieke technologie (bijvoorbeeld turbines en omvormers), infrastructuur, en organisatieprincipes. Daarnaast bouwen GPT's veelal op elkaar voort (geen elektriciteit zonder stoommachines en geen computers zonder elektriciteit) en kunnen ze ook parallel aan elkaar worden ontwikkeld en gezamenlijk bijdragen aan een technologische revolutie. Schumpeter stelde al dat meerdere technologieën samen tot een golf van economische groei kunnen leiden. Ook Perez en Freeman staan op het standpunt dat een technologische revolutie gedreven wordt door meerdere technologieën. Alessandro Nuvolari (2019) wijst op het belang van zogenaamde blokken van radicale innovatie die tezamen een revolutie veroorzaken, als alternatief voor pogingen om een enkele (*general purpose*) technologie aan te wijzen als veroorzaker van een technologische revolutie.

13 Grofweg geldt voor historici dat ze het begrip, en de ambitie ervan, te reductionistisch vinden; elke technologische ontwikkeling (en haar impact) staat op zichzelf en moet in haar eigen context onderzocht worden. Voor (orthodoxe) economen zijn GPT's niet of nauwelijks te operationaliseren en ontbreekt er voldoende empirisch bewijs om dit als een bijzondere, economisch relevante, categorie te hanteren.

14 Silverberg 2003.

15 Field 2008.

16 Bekar et al. 2016.

17 AI vertoont grote overeenkomsten met de 'klassieke' GPT's zoals de stoommachine, elektriciteit, de verbrandingsmotor en informatietechnologie. In onze historische analyse beperken wij ons dan ook tot deze voorgangers.

18 Lipsey et al. 2005: 132.

19 Field 2008.

technologieën die worden besproken niet altijd precies worden gedefinieerd (gaat het bijvoorbeeld om elektriciteit als algemeen principe of om de dynamo, gaat het om IT of om halfgeleiders?), en dat vaak verwarring bestaat over oorzaak en effect van de technologie. Als gevolg van deze ambiguïteit bestaat er bij bepaalde technologieën – zoals de verbrandingsmotor, de domesticatie van planten en dieren en de spoorweg – grote discussie of ze wel of geen GPT zijn. Wat Field betreft is het dan ook een open vraag welke technologieën nog meer als GPT worden aangemerkt.

2.2 De verwachte impact van AI

Voor de vraag of AI ook bestempeld kan worden als GPT,²⁰ en daarmee vergelijkbaar is met de hierboven genoemde revolutionaire technologieën, kunnen we uitgaan van de drie criteria die veelal worden geassocieerd met een GPT.²¹ We behandelen deze criteria hieronder en schetsen of en hoe AI hieraan voldoet:

1. GPT's hebben een hoge mate van alomtegenwoordigheid (*pervasiveness*²²): ze vervullen een algemene technologische functie die in veel sectoren, productieprocessen en productcategorieën wordt toegepast en zich daarom als belangrijke input door de gehele economie verspreidt.
2. GPT's hebben een hoog potentieel voor technische verbetering (*technical improvement*): innovatie en leerprocessen leiden tot continue kostendaling en steeds hogere efficiëntie van de algemene technologische functie.
3. GPT's leiden tot veel innovatieve complementariteiten (*innovational complementarities*): de inzet van een GPT leidt ertoe dat innovatie in allerlei sectoren sneller plaats kan vinden, waardoor de productiviteit van productiefactoren in de economie stijgt.

Dat betekent dat als de GPT zich wijd en zijd door de economie verspreidt, veel sectoren, producten en diensten hiervan profiteren. Dat leidt tot een stijging van productiviteit en efficiëntie, en daarmee van levensstandaarden. Hoe ziet dit er nu uit voor AI? Kwalificeert AI zich als GPT? Deze vraag beantwoorden wij positief.

20 Trajtenberg 2018.

21 Bresnahan en Trajtenberg 1992. which we call General Purpose Technologies (GPT's

22 Bresnahan en Trajtenberg (1992: 4) which we call General Purpose Technologies (GPT's gebruiken de metafoor van een boom: de aanwezige technologieën binnen een economie kunnen geordend worden in een hiërarchisch patroon, de 'technologische boom', waarbij de algemene en generieke technologieën bovenin zitten. Hun vitale functie leidt tot een groot segment aan bestaande of potentiële technologische producten, diensten en processen.

Tabel 2.1 Criteria van een general purpose technology toegepast op AI, met hedendaagse voorbeelden

Criterion	AI	Hedendaagse voorbeelden en datapunten
Alomtegenwoordigheid	<ul style="list-style-type: none"> – Het heeft er alle schijn van dat AI haar weg zal vinden naar alle sectoren in de economie, in ontwikkelingstrajecten, productie- en distributieprocessen en in eindproducten. – AI wordt ingezet op vele verschillende niveaus om deze 'slimmer' te maken, zoals producten en diensten, maar ook infrastructuur zoals wegen (<i>smart roads</i>), fabrieken (<i>smart factories</i>), overheden (<i>smart governments</i>), of zelfs hele steden (<i>smart cities</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> – Bughin et al.²³ schatten dat AI tot 2030 1,2% extra groei per jaar oplevert. – Volgens Gartner²⁴ heeft meer dan een derde van alle bedrijven heeft AI geïmplementeerd (een groei van 270% in de afgelopen 3 jaar). – Teradata²⁵ schat dat 80% van de grote bedrijven investeert in AI. – AI ligt waarschijnlijk ten grondslag aan nieuwe slimme en autonome producten en diensten zoals zelfrijdende auto's, robotica, medische diagnoses, automatische wapensystemen en investeringsbots.
Technische verbetering	<ul style="list-style-type: none"> – Naast de directe toepassingen van waaruit AI is ontwikkeld zal het gebruik van afgeleide innovaties door AI (<i>AI accelerators</i>) ook weer leiden tot productiviteitsverhoging. – De toevoeging van (verschillende niveaus van) intelligentie en (semi)autonoom handelen draagt bij aan de vorming van alsmar rijkere datasets en verbeterde algoritmes, die op hun beurt AI weer beter maken. 	<ul style="list-style-type: none"> – Reinsel et al.²⁶ voorspellen dat vanwege betere algoritmes de wereldwijde datasfeer zal groeien van 33 zettabyte in 2018 tot 175 zettabyte in 2020. – De foutmarges van (nauwe) AI dalen snel, en zijn vaak beter dan menselijke capaciteiten, (zoals spraakherkenning,²⁷ objectherkenning²⁸ en strategiespelletjes²⁹). – Batra et al.³⁰ schatten dat AI-gerelateerde halfgeleiders met 18% per jaar groeien.
Innovatieve complementariteiten	<ul style="list-style-type: none"> – Elke sector maakt gebruik van patroonherkenning, waardoor AI waarde kan toevoegen binnen iedere sector. Daarom speelt AI nu al, en in de toekomst nog meer, een grote rol in allerlei R&D-trajecten, bijvoorbeeld in biotechnologie, in de vorm van data-analyse, geavanceerde modellen en simulaties, zogeheten <i>mirror worlds</i>. – AI kan zowel leiden tot een enorme groei in productiviteit en groei van de economie als tot hogere werkloosheid, omdat ze menselijke cognitieve vaardigheden automatiseert. 	<ul style="list-style-type: none"> – Purdy en Daugherty³¹ verwachten dat de economische groei rond 2035 is verdubbeld als gevolg van de adoptie van AI. – PwC³² schat dat het wereldwijde bbp in 2030 ongeveer 14% hoger is als gevolg van stijgende productiviteit dankzij AI. – Manyika et al.³³ schatten dat 60% van de banen rond 2030 is veranderd gevolg van AI en slimme apparaten. – Deloitte³⁴ schat dat ongeveer de helft van alle banen geautomatiseerd kan worden door AI en IT.

23 Bughin et al. 2018.

24 Gartner 2019.

25 Teradata 2017.

26 Reinsel et al. 2018.

27 Price 2017.

28 He et al. 2015.

29 Garisto 2019.

30 Batra et al. 2019.

31 Purdy en Daugherty 2017.

32 PwC 2017.

33 Manyika et al. 2017.

34 Brandes en Zobrist 2015.

Tabel 2.1 laat zien dat AI voldoet aan de criteria die aan een *general purpose technology* worden gesteld. Daarmee heeft AI in essentie grote overeenkomsten met de klassieke GPT's. Op basis hiervan lijkt het gerechtvaardigd om historisch vergelijkend onderzoek te doen naar deze eerdere technologieën en te onderzoeken wat we daaruit kunnen leren over AI. Dit geldt zowel voor de te verwachten economische, en daarmee strategische, relevantie van de technologie (die nadrukkelijk besloten ligt in de definitie van GPT's) als voor de maatschappelijke impact en de daarmee samenhangende maatschappelijke en morele vraagstukken.

In het volgende hoofdstuk verkennen we de geschiedenis van de vier 'klassieke' GPT's. Dit zijn de zogenaamde Big Three van Field (de stoommachine, elektriciteit, en informatietechnologie), aangevuld met de verbrandingsmotor; een GPT die ook door de meeste auteurs als zodanig wordt erkend en die ontegenzeggelijk van grote economische, strategische en maatschappelijke waarde is geweest. Daarbij concentreren we ons in eerste instantie op de directe toepassing van deze technologieën, zoals de toepassing van stoommachines als krachtbron in fabrieken. Daarnaast hebben we ook oog voor afgeleide toepassingen, zoals de stoomtrein in het geval van de stoommachine, het gebruik van huishoudelijke apparatuur in het geval van elektriciteit, en netwerktechnologie, ICT en software in het geval van IT. Dit doen we enerzijds omdat de toevoegde waarde van GPT's vooral in die afgeleide toepassingen zit en anderzijds omdat het maatschappelijke debat zich vaak richtte op dergelijke toepassingen en de gevolgen daarvan.

3 GTP's uit het verleden

In dit hoofdstuk onderzoeken we vier klassieke *general purpose technologies*, en beschrijven we welke strategische en maatschappelijke vraagstukken we tegenkomen bij de ontwikkeling en adoptie van deze technologieën. Bij elk van de vier analyses onderscheiden we drie onderdelen: de ontwikkeling van de technologie, de diffusie en inbedding in de economie en samenleving, en tot slot de daarmee samenhangende maatschappelijke debatten zoals (on)veiligheid, vervuiling en ongelukken. Dit hoofdstuk bevat het empirisch materiaal van onze literatuurstudie. De afzonderlijke bevindingen voor de vier GTP's brengen we in het volgende hoofdstuk bij elkaar om te kijken wat we hieruit kunnen opmaken met betrekking tot AI. We geven geen uitputtende beschrijving van de ontwikkeling en afgeleide effecten, producten en problemen van de GPT, maar concentreren ons op de belangrijkste observaties met betrekking tot de strategische en maatschappelijke dimensie van de technologie.

Aangezien de meeste GTP's in het Westen ontwikkeld zijn en daar ook het eerste ingebed raakten, richten wij ons vooral op de historische ontwikkeling van de technologieën in het Westen. Elke casebeschrijving begint met de eerste stappen in de ontwikkeling van de GPT. Vervolgens concentreren we ons op de eerste decennia waarin de technologie haar weg vindt in verschillende landen en waarin de strategische en maatschappelijke dimensie zich uitkristalliseert. De beschrijving eindigt grofweg op het moment dat de belangrijkste toepassingen van de GPT volledig ingebed zijn geraakt en de belangrijkste maatschappelijke debatten beslecht zijn.

Een belangrijke methodische opmerking betreft de periodisering van technologische revoluties, of de opkomst en 'uitwerking' van technologieën. Het aanwijzen van een begin- en eindpunt van een technologische revolutie is vrijwel onmogelijk en noodzakelijkerwijs arbitrair. Bovendien bouwen de GTP's evolutionair op elkaar voort (dat wil zeggen: zonder stoommachines geen elektriciteit en zonder elektriciteit geen IT) en zijn ze – op de stoommachine na – mede daardoor feitelijk nooit 'uitgewerkt' of 'voorbij'. Ook zien we dat technologische ontwikkelingen steeds sneller verlopen, juist doordat de GTP's op elkaar voortbouwen. Het internet kon zich bijvoorbeeld zo snel uitbreiden doordat er al een telefoonnetwerk lag. Dit maakt het nog problematischer om periodes te definiëren. Desondanks kiezen we er toch voor om de verschillende GTP's te bestuderen als revolutionaire ontwikkelingen met een – arbitrair gekozen – begin en einde. Daarbij zijn we ons wel bewust van de bovenstaande overwegingen. Deze vormen onderdeel van de analyse in hoofdstuk 4.

3.1 De stoommachine

Ontwikkeling

De stoommachine kan echt beschouwd worden als een Britse uitvinding. Alle technologische doorbraken in de achttiende eeuw op dit vlak werden gerealiseerd in het Verenigd Koninkrijk, van Thomas Savery's eerste, door stoom aangedreven waterpomp in 1698, via de eerste atmosferische stoommachine van Thomas Newcomen in 1712, tot James Watts veel efficiëntere motor met externe condensator in 1776. Dit was geen toeval: het Verenigd Koninkrijk bevond zich op het toppunt van zijn politieke en economische macht. De stoommachine was onderdeel van de industriële revolutie, die in het VK begon: een periode waarin geschoolde ingenieurs stelselmatig bezig waren allerlei processen te mechaniseren. Daar komt nog bij dat niet alleen de randvoorwaarden voor het ontwikkelen van de stoommachine aanwezig waren, maar ook voor de toepassing ervan.

Vanuit ons huidige perspectief lijkt het aannemelijk dat de stoommachine onmiddellijk een doorslaand succes was waarmee ouderwetse krachtbronnen (mens, dier en waterkracht) vervangen konden worden door veel krachtiger en nooit vermoeide machines. Uitgebreid historisch onderzoek heeft echter laten zien dat de eerste stoommachines vaak nauwelijks beter of goedkoper waren dan traditionele krachtbronnen en dat de diffusie van deze technologie nauw verbonden was met de beschikbaarheid van goedkope steenkool. Dit laatste was met name het geval in Engeland. Gedurende meerdere decennia werden er buiten de directe vindplaatsen van kolen nauwelijks stoommachines geïnstalleerd. In 1800 stonden er zo'n 2.500 stoommachines in het Verenigd Koninkrijk, waarvan de meeste in Engeland, tegen hooguit 100 in België, de grootste steenkoolproducent van het vasteland van Europa. In heel Frankrijk stonden er maar 70.³⁵

Naast de prijs van steenkool vormden ook de hoge loonkosten in Engeland een belangrijke voorwaarde voor de snelle adoptie van stoommachines aldaar. Dit gold in extreme mate in Londen. Daar was steenkool weliswaar relatief duur vanwege transportkosten en de grote vraag, maar de lonen waren ook dusdanig hoog dat stoommachines zich al snel lieten uitbetalen en daarom ook snel konden worden ingebed in productieprocessen.³⁶

35

Allen 2009.

36

Nuvolari et al. 2011.

Diffusie en inbedding

Pas vanaf de negentiende eeuw was de technologie zover geëvolueerd dat stoommachines ook met duurdere kolen (en dus op grotere afstand van kolenmijnen) rendabel ingezet konden worden. Het Europese vasteland maakte vanaf dat moment een inhaalslag. Dit gold nog in veel sterkere mate voor de Verenigde Staten. Voor een groot deel kwam dit door de Amerikaanse lonen, die weinig verschilden van de Britse. Productiviteitsverhogingen als gevolg van de stoommachine waren daardoor bijzonder welkom. Ter illustratie: in het VK stonden stoommachines in 1830 op gelijke hoogte met waterkracht (in termen van geïnstalleerd vermogen). In de VS was dat in 1850 het geval.

Het VK had weliswaar een kennisvoorsprong op andere landen als het gaat om stoomtechnologie, maar dit was dus niet de belangrijkste reden voor de beperkte toepassing van stoommachines buiten het VK. Dat was eerst en vooral het gevolg van de bredere context van grondstoffen en loonkosten. Dit gold feitelijk ook voor eerdere Britse uitvindingen in de textielindustrie, zoals de spinmachine. Zo kenden de Fransen de technologie en hadden ze ook al vroeg de beschikking over enkele modellen spinmachines, maar ondanks financiële steun van de Franse overheid stapten maar weinig fabrikanten over op deze manier van produceren. Kennelijk ontbrak het hun aan de noodzaak (hoge lonen) en mogelijkheden (kennis over inpassing in het gehele productieproces) om de overstap te maken.³⁷

Dat wil niet zeggen dat de achterstand in technische kennis en kunde helemaal geen rol speelde in de adoptie van stoommachines op het Europese vasteland. Om ze te bouwen, installeren en in te passen in bestaande productieprocessen was specifieke kennis noodzakelijk. Vele handelsmissies, onder meer uit Frankrijk, deden daarom aan een milde vorm van industriële spionage en probeerden de geheimen van de Engelsen te achterhalen. Ook werden er pogingen ondernomen om geschoold personeel over te halen om te emigreren naar het Europese vasteland.³⁸

Het gegeven dat de Britten de stoommachine hadden uitgevonden betekende ook niet dat zij als enigen in staat waren de technologie verder te ontwikkelen. Onder ingenieurs heerste sowieso een tamelijk sterk internationalistisch idealisme. De vele exposities en conferenties die volgden op de Grote Tentoonstelling van Londen in 1851 dienden dan ook als ontmoetingsplaats voor uitvinders vanuit de gehele westerse wereld.³⁹

37 Allen 2009.

38 Stewart 1998.

39 Kaiser en Schot 2014.

Het sterkste bewijs voor deze verspreiding van kennis wordt geleverd door de in de Verenigde Staten ontwikkelde Corliss-motor. Tot in de jaren dertig van de negentiende eeuw was de Amerikaanse economie nog volledig afhankelijk van waterkracht (nog geen 2 procent van grote Amerikaanse bedrijven maakte gebruik van stoommachines). Alleen in Pittsburgh was de industrie, vanwege de beschikbaarheid van goedkope steenkool, op grote schaal overgestapt op stoom. In Louisiana was stoom ook populair, vanwege de afwezigheid van waterkracht en de noodzaak om suikerriet zo snel mogelijk te kunnen verwerken. Daarbuiten kreeg stoom dus lange tijd geen voet aan de grond. Ondanks deze achterstand op het Verenigd Koninkrijk was Amerika toch in staat de stoommachine door te ontwikkelen. Het resultaat hiervan, de Corliss-motor (ontwikkeld door George Henry Corliss), kwam in de jaren vijftig van de negentiende eeuw op de markt.

De Corliss-motor was zo'n 30 procent efficiënter dan de eerdere motoren, kon een veel hoger toerental bereiken en was beter in staat om gelijkmatig kracht te leveren, zelfs bij plotselinge veranderingen in belasting. Dit laatste was, bijvoorbeeld, van grote waarde in de textielindustrie, waar onregelmatige motoren vaak leidden tot draadbreek en het stilleggen van processen. Ook in de metaalsector was de Corliss-motor van grote waarde, doordat hij goed kon omgaan met plotselinge belasting van een nieuw stuk staal dat gewalst moest worden.⁴⁰ In Europa en zelfs in Engeland vond de Corliss-motor ook gretig aftrek. Dit succes volgde onder meer op het behalen van de prijs voor de beste stoommachine tijdens de Parijse wereldtentoonstelling van 1867.

Maatschappelijk debat

Achteraf kunnen we stellen dat de stoommachine, en de industriële revolutie in bredere zin, daadwerkelijk – ook in maatschappelijke zin – een revolutie teweeg heeft gebracht. Hoewel dit indertijd voor de meeste mensen helemaal niet zo duidelijk was, leefde bij een deel van de Britse bevolking aan het eind van de achttiende eeuw al sterk een besef van het revolutionaire karakter van de technologie van die tijd. Dit gold bijvoorbeeld voor de aristocratie, die met de opkomst van moderne industriëlen een nieuwe macht zag opdoemen – en die ook vreesde. Hetzelfde gold voor Franse spionnen, die rapporteerden dat de nieuwe technologie zou kunnen leiden tot een revolutie in internationale verhoudingen waarbij de Britten volkomen dominant zouden worden.⁴¹

Onder gewone burgers leefde dit besef aanzienlijk minder, al waren er al in 1760 protesten en rellen door arbeiders die vreesden vervangen of gemarginaliseerd te worden door machines (waarbij de stoommachine overigens nog geen rol van betekenis speelde). De gemiddelde arbeider had niet of nauwelijks weet van de nieuwe machines; zowel de beloften als de angstbeelden bereikten hem niet.⁴² Ook onder ingenieurs bleef er begrijpelijkerwijs lang twijfel over de daadwerkelijke impact van de stoommachine; velen zagen niet in hoe deze onbetrouwbare en volstrekt inefficiënte machines ooit van toegevoegde waarde konden zijn.

Vanaf het begin van de negentiende eeuw kwam hier verandering in. Stoommachines en de fabrieken die ze van kracht voorzagen werden steeds zichtbaarder in het landschap, en ze leidden tot merkbare veranderingen in het dagelijks leven. Enerzijds kan deze periode gekenschetst worden als een periode van groot enthousiasme over technologische vooruitgang in het algemeen en de vele mogelijkheden die ze met zich meebracht voor (welgestelde) burgers, van treinreizen tot goedkopere consumentengoederen.⁴³ Dit enthousiasme vertaalde zich onder meer in het grote succes van de eerdergenoemde Grote Tentoonstelling in Londen in 1851 en latere tentoonstellingen waar de successen van de moderne technologie werden gevierd. Anderzijds kwam in de negentiende eeuw ook het verzet tegen de technologie in een stroomversnelling. Grofweg kan dit verzet worden onderverdeeld in drie hoofdstromen: verzet tegen industrialisering, tegen verstedelijking en tegen luchtverontreiniging.

Het verzet tegen mechanisering en industrialisering richtte zich niet alleen op de stoommachine, maar deze vormde wel een belangrijke en zeer zichtbare schakel in het geheel. Dit verzet werd aan de ene kant geleid door de eerdergenoemde aristocratie die met lede ogen toezag hoe haar eigen greep op de samenleving verzwakte en er een nieuwe elite opstond. Dat ging gepaard met de afbraak van de landbouweconomie waar hun rijkdom en macht op gebaseerd was, en daarmee ook van het typisch Engelse landschap. Aan de andere kant ontstond er verzet vanuit de arbeidersklasse, waarbij vooral gevreesd werd voor verlies van banen en slechtere arbeidsvoorwaarden. Dit verzet begon zoals gezegd al in de tweede helft van de achttiende eeuw, maar bereikte een hoogtepunt in de jaren tien van de negentiende eeuw, toen zogenaamde Luddieten⁴⁴ ten strijde trokken tegen de mechanisering. Zij voerden zeker honderd aanvallen uit op fabrieken en vernielden machines. Ook in het vervolg van de negentiende

42 Riello en O'Brien 2004.

43 Van der Vleuten et al. 2017.

44 De Luddieten vormden een heterogene beweging van vooral ambachtslieden en kleine boeren die zich richtte tegen de industrialisering. Hun naam was ontleend aan Ned Ludd, een textielarbeider die in 1779 uit woede twee mechanische weefgetouwen zou hebben vernield.

eeuw bleef dit soort protesten de kop opsteken. In 1842 werden tijdens de zogeheten *Plug Plot Riots* op grote schaal stakingen georganiseerd waar zo'n half miljoen arbeiders aan deelnamen en waarbij stoommachines onklaar werden gemaakt.⁴⁵

Ook vanaf het vasteland van Europa werd met argusogen gekeken naar de snelle ontwikkelingen in Engeland. De Britse stoommachines maakten weliswaar grote indruk (zo sprak men soms over 'het rijk van Vulcanus', de Romeinse god van het vuur) en hetzelfde gold een paar jaar later voor de vele spoorlijnen, schoorstenen en immense fabrieken die qua formaat deden denken aan Romeinse paleizen, maar dat maakte Engeland nog niet tot modelstaat van maatschappelijke en technologische vooruitgang. Velen leden eerder aan een vorm van anglofobie en weerzin tegen het land dat de idealen van de Franse Revolutie de kop in had gedrukt. De bewondering voor de technologische en economische vooruitgang werd daardoor overschaduwed door de overtuiging dat dit alles vooral werd gedreven door hebzucht, en zeker niet door een begeerenswaardige moraal. Voor andere landen was de vraag dus tweeledig: kunnen we Engeland nog bijbenen en moeten we dat ook echt willen?

Het protest tegen de gevolgen van grootschalige en snelle verstedelijking richtte zich met name op de slechte leefomstandigheden van arbeiders in steden als Manchester, Liverpool en Birmingham. Ter illustratie, terwijl Engeland in 1800 nog slechts 15 steden van meer dan 20.000 inwoners kende, groeide dit aantal in 50 jaar tot meer dan 63. Omdat arbeiders en goederen zich nog niet zo gemakkelijk lieten verplaatsen (de spoorwegen brachten daar pas later verandering in), hadden fabrieken en industriële complexen er baat bij zo dicht mogelijk bij een stadskern te zitten. De snelle verdichting van stedelijke gebieden leidde er echter wel toe dat vuilnis zich ophoopte, ziekten zich gemakkelijk verspreidden en publieke voorzieningen sterk onder druk kwamen te staan.

De weerstand tegen grootschalige luchtverontreiniging had hier rechtstreeks mee te maken. De grootschalige inzet van stoommachines in stedelijke gebieden, in combinatie met andere industriële processen en het gebruik van hout en kolenkachels, leidde tot zeer schadelijke luchtverontreiniging. Dit was ook direct duidelijk voor alle betrokkenen. Al tegen het einde van de achttiende eeuw kwamen delen van de bevolking in verzet. Het vroege verzet hield verband met het feit dat de eerste stoommachines, van Newcomen, zeer veel roet produceerden en, gezien hun beperkte efficiëntie, ook bovenmatig veel brandstof gebruikten. Zo kon de overlast van een enkele machine al enorm groot zijn.

Een officiëlere erkenning van de schadelijke gevolgen van stoommachines volgde echter pas in het eerste decennium van de negentiende eeuw, toen een commissie van artsen concludeerde dat de burgers van Manchester daadwerkelijk ziek werden van de rook. Vanaf dat moment begonnen ook de fabriekseigenaren zich zorgen te maken, met name voor boetes. Zij vroegen de bouwers van stoommachines, zoals Watt, dan ook om oplossingen aan te dragen. Ondertussen kwamen er ook meer gerechtelijke uitspraken tegen fabrikanten die te veel overlast veroorzaakten voor burens en voorbijgangers. De gevolgen bleven beperkt tot boetes, want de wet bood geen mogelijkheden voor verdergaande actie. Dit laatste had mogelijk ook te maken met de wisseling van de wacht in de Britse politiek. Daarin erkende de oude elite weliswaar het probleem van luchtverontreiniging, maar werd zij zelf eigenlijk al overvleugeld door de nieuwe industriële elite die het steeds meer voor het zeggen kreeg. Pas decennia later kwam er enig schot in de zaak met enerzijds schonere machines, door verbeterde efficiëntie en naverbranding van roetdeeltjes, en anderzijds regelgeving die minimale eisen stelde aan de hoogte van schoorstenen zodat de vervuiling beter verspreid werd.

Achteraf bezien kunnen we concluderen dat de Britse overheid niet of nauwelijks controle uitoefende op de ontwikkeling en implementatie van de stoommachine en dat ze ook nauwelijks grip had op de schadelijke gevolgen van de technologie.

3.2 Elektriciteit

Ontwikkeling

Lang voordat er kennis was over elektriciteit en er praktische toepassingen bestonden, waren mensen zich al bewust van het bestaan van elektrische fenomenen zoals onweer of de stroomstoten van sidderalen. Pas vanaf de achttiende en met name in de negentiende eeuw werd de bestudering van elektriciteit theoretischer en systematischer van aard. Vanaf halverwege de negentiende eeuw werd het economisch potentieel duidelijk met de uitvinding van de dynamo. Slechts weinigen voorzagen echter hoezeer elektriciteit van praktisch nut zou kunnen zijn.⁴⁶

Elektriciteit is een 'endogene technologische innovatie': een innovatie die in eerste instantie primair wordt gedreven door wetenschappelijk onderzoek en nieuwsgierigheid naar de natuur van bepaalde zaken, en niet door economische prikkels, politieke druk of andere 'exogene krachten' (zoals een energiecrisis).

David⁴⁷ heeft laten zien dat elektriciteit, in vergelijking met andere GPT's, een veel langere tijd nodig heeft gehad om zich te verspreiden in de economie en samenleving. Dit was voornamelijk het gevolg van het feit dat dit een *technology-radical* GPT is, die gebaseerd is op echt nieuwe, en complementaire, technologie (zoals de dynamo, netwerken en batterijen). Dit in tegenstelling tot zogenaamde *use-radical* GPT's die voorkomen uit bestaande technologische kennis en componenten.⁴⁸ Tegelijkertijd was geen van deze innovaties in zichzelf de unieke 'kritische ontdekking' voor elektriciteit.⁴⁹ Belangrijker nog, elk van deze innovaties werd gedaan door verschillende onderzoekers en ingenieurs, in verschillende landen, en geen enkel land had daarmee exclusieve kennis om elektriciteit succesvol te kunnen toepassen.⁵⁰

Tussen 1870 en 1920 steeg het Amerikaanse energieverbruik met ongeveer 440%.⁵¹ Als gevolg van het succes van de elektriciteitsindustrie werd onderzoek naar elektriciteit tegen het eind van de negentiende eeuw een erkend domein van de natuurwetenschappen, en begonnen universiteiten opleidingen in elektrotechniek aan te bieden.⁵² Dit leidde tot een grote golf aan nieuwe elektrotechnische innovaties vanaf eind jaren 1880.

Het begin van twintigste eeuw zag veel nieuwe elektrotechnische innovaties die de start van de moderne consumentenelektronica inluiden. Daarmee werden de strategische implicaties van elektrotechniek pas echt duidelijk.⁵³ Tijdens de Tweede Wereldoorlog boekte de elektrotechniek enorme vooruitgang als gevolg van de druk van landen om hun oorlogsapparatuur verder te ontwikkelen. Radiotechnologie werd verder ontwikkeld, bijvoorbeeld om gecontroleerde *air raids* met gevechtsvliegtuigen te kunnen uitvoeren. Ook de communicatie werd op deze manier verder ontwikkeld. Zo ontwierp de British Air Ministry van 1935 tot 1939 een landelijke keten van radarstations om informatie te versturen, die een beslissende rol speelde in de Slag om Engeland.⁵⁴ Uit deze innovaties kwamen ook de eerste computersystemen voort, te beginnen met de transistor, een fundamentele bouwsteen voor het elke computer. Daarmee werd het tijdperk van de computer en informatietechnologie ingeluid.

47 David 1990.

48 Lipsey et al. 2005: 96.

49 Bekar et al. 2016.

50 Freeman en Louça 2001: 250-251.

51 Klein 2007: 85.

52 Cardwell 2001: 443.

53 Lipsey et al. 2005: 95.

54 Cardwell 2001: 530-532.

Diffusie en inbedding

Het eerste praktische gebruik van elektriciteit was de telegraaf voor communicatie over lange afstanden. Maar buiten de telegraaf was er in de eerste helft van de negentiende eeuw weinig geloof in de potentie van elektriciteit, ondanks dat dit de ‘eeuw van vooruitgang’ was.⁵⁵ Zoals gezegd werd pas met de uitvinding van de dynamo iets van het economisch potentieel duidelijk, en tijdens de jaren zeventig en tachtig van de negentiende eeuw nam het gebruik van elektriciteit dan ook een grote vlucht:⁵⁶ eind 1870 begonnen steden groot-schalige elektrische straatverlichting te installeren op basis van de gloeilamp, die was ontwikkeld door de Amerikaanse ondernemer en uitvinder Thomas Edison. Zijn gloeilamp maakte op zijn beurt weer gebruik van een patent van de Canadese uitvinders Henry Woodward en Matthew Evans. (De Engelsman Joseph Swan kwam vrijwel gelijktijdig met dezelfde gloeilamp). Tegen 1881 werden gloeilampen massaal geproduceerd in de Edison General Electric Company. Ze werden verkocht onder de kostprijs om een elektriciteitssysteem te ontwikkelen waarbij de verschillende bedrijven van Edison voorzagen in elektriciteitsopwekking, distributie en gebruik van elektriciteit.

Met name de opening in 1882 van Pearl Street Station, Edisons elektriciteitscentrale nabij Wall Street, wordt gezien als een doorbraakmoment voor de elektriciteitsmarkt.⁵⁷ Een andere belangrijke innovatie waren de elektrische trams in enkele steden in Duitsland en de VS, die ook leidden tot het bouwen van elektriciteitscentrales in steden en verdere distributie van elektriciteit. Uiteindelijk zorgden problemen bij het bouwen van de trams en de infrastructuur voor de ontwikkeling van een nieuwe aandrijvingsmotor die compacter en efficiënter was: de verbrandingsmotor van Rudolf Diesel in 1914.⁵⁸

De eerste elektrische innovaties waren een publieke aangelegenheid. Op de elektriciteitstentoonstellingen in Parijs van 1881 en Crystal Palace in 1882 toonde Edison zijn ideeën voor een elektriciteitssysteem aan het grote publiek, en de recensies en publieke opinie waren lovend. Hierop besloot Edison zijn elektriciteitstechnologie te verkopen via licenties en door patenten te verkopen aan dochterondernemingen in Europa.⁵⁹ Zo verkocht Edison bijvoorbeeld zijn patent aan de Mather and Platt Company in Manchester, die Edison-dynamo's konden produceren voor de Britse markt. John Hopkinson en John Ambrose Fleming ontwikkelden vervolgens in 1883 de ‘Manchester-dynamo’, waarmee

55 Cardwell 2001: 374.

56 “The 1870s are often cited as the decade of transition from the first to the second industrialization phase” (Hughes 1983: 175).

57 Bakker 2017: 73-75; Freeman en Louça 2001: 228.

58 Cardwell 2001: 472.

59 Hughes 1983: 48-50.

ze het ontwerp van de dynamo revolutioneerden tot de zogeheten *revolving-field*-dynamo. Die maakte het mogelijk om veel grotere machines te elektrificeren, zodat deze enorme dynamo's het symbool werden van de transformatie van de 'elektriciteitstijd'.⁶⁰ Zo werden de eerste elektrische toepassingen en innovaties in de negentiende eeuw vrijelijk verspreid door de westerse wereld.

Systematische elektrificatie

Tot ver in de negentiende eeuw was de wetenschap rondom elektriciteit en elektrotechniek nog nauwelijks geïnstitutionaliseerd, wat erop duidt dat overheden niet of nauwelijks het strategische belang van elektriciteit inzagen. In ontwikkelde landen werd de distributie van elektriciteit al in het laatste decennium van de negentiende eeuw geïntroduceerd, maar dit gebeurde grotendeels op lokale schaal. Dat begon in 1858 in het VK en verspreidde zich snel door de rest van Europa en ook in de VS, dat een leider werd in het ontwikkelen en uitrollen van elektriciteitstechnologie en -netwerken. Dit was in de VS het geval omdat elektriciteitsnetwerken in handen waren van private ondernemingen die een lokale markt bedienden. Pas in de jaren twintig en dertig van de twintigste eeuw ontstond het proces van 'systematische elektrificatie', waarbij elektriciteitsdistributie op grotere (dat wil zeggen: regionale en nationale) schaal plaatsvond. Vaak gebeurde dit op initiatief van de staat, gedreven door het proces van nationalisatie en door de wens de industrie en de economie te mobiliseren voor de oorlog.⁶¹

Volgens Jovanovic en Rousseau⁶² begon het 'tijdperk van elektrificatie'⁶³ in de VS rond 1890, met de eerste hydro-elektrische centrale bij de Niagara Falls. In die eerste jaren werd, onder aanvoering van Edison, gebruik gemaakt van gelijkstroom (*direct current*, kortweg DC). De introductie van wisselstroom speelde vervolgens een grote rol in de verdere ontwikkeling en diffusie van elektriciteit als GPT. Met wisselstroom (*alternating current*, AC) kon elektriciteit over langere afstanden worden gedistribueerd, met minder verlies van energie en daardoor ook tegen lagere kosten. Rond 1929 was de VS grotendeels 'geëlektrificeerd', en dat gold voor zowel bedrijven als huishoudens. Landelijk Amerika moest echter lang wachten op de aansluiting op het elektriciteitsnetwerk, omdat de meeste elektriciteitsbedrijven private ondernemingen waren en hier geen financiële prikkel voor hadden. Dit veranderde pas met de Rural Electrification Act in 1936.⁶⁴

60 Brittain 1974.

61 Hallon 2001.

62 Jovanovic en Rousseau 2005.

63 In hun paper definiëren zij "the start of a GPT-era as the point in time when the GPT has achieved a one-percent diffusion in the median sector" (Jovanovic en Rousseau 2005: 2-3).

64 Lipsey et al. 2005: 198-200.

In Europa werden elektriciteitsnetwerken al vroeg gezien als publieke dienst. Daarbij werd de aanleg van deze netwerken ook aangegrepen om de nieuwe 19e-eeuwse natiestaten mede vorm te geven. Hierdoor waren Europese huishoudens sneller verbonden aan het net en tegen lagere kosten, terwijl de VS vooroeplic in commerciële toepassingen, zoals straatverlichting, trams en industriële mechanica.⁶⁵ De systematische elektrificatie in Duitsland kwam in het eerste decennium van de twintigste eeuw op gang door particuliere, gemeentelijke en coöperatieve ondernemingen samen te voegen in centrales van regionale energievoorzieningssystemen voor de afzonderlijke Duitse staten.⁶⁶ In Duitsland sloeg met name de technologie van Edison snel aan. Zij werd via licenties aan nieuwe Duitse elektriciteitsbedrijven verstrekt.

De eerste ideeën voor de systematische elektrificatie van Europa ontstonden tijdens het interbellum. In die periode werd elektrificatie gezien als tool voor regionale ontwikkeling en integratie, en als middel ter pacificatie en om een technische en spirituele band tussen Europese landen te scheppen.⁶⁷ Ingenieurs en academici waren al langere tijd een drijvende kracht achter standaardisering⁶⁸ en internationalisering van elektrotechniek en elektriciteitssystemen. Al sinds de negentiende eeuw organiseerden zij zich in internationale organisaties om bijvoorbeeld internationale elektriciteitsnetwerken aan te leggen. Echter, opkomend nationalisme en strategische overwegingen in de tweede helft van de jaren dertig van de twintigste eeuw zorgden ervoor dat politici dergelijke pan-Europese projecten tegenhielden en zich richtten op de mobilisatie van de oorlogseconomie.⁶⁹ Dit veranderde pas na de Tweede Wereldoorlog, onder druk van het Amerikaanse Marshallplan. Systematische elektrificatie en unificatie van het Europese elektriciteitssysteem was daar een integraal onderdeel van, evenals de Europese unificatie van de interne markt.

De tweede industriële revolutie

De distributie van elektriciteit via wisselstroom eind negentiende eeuw – ten tijde van de tweede industriële revolutie, toen de industriële ontwikkeling zich snel over Europa en de VS verspreidde – veranderde ook de schaal en compositie van industrieën. Daarmee ontstonden de eerste natuurlijke

65 Bakker 2017: 80-81.

66 Hallon 2001.

67 Legendijk 2008: 69-70.

68 Tijdens een bijeenkomst van de British Association in 1861 werden veel internationale standaarden voor elektrische eenheden vastgesteld waar we nu nog steeds gebruik van maken, zoals de joule, ohm en ampère (Yates en Murphy 2019: 23).

69 Zie Legendijk (2008) voor een bespreking van Frankrijk (p. 114), Italië (p. 115), Duitsland (p. 116), en Nederland (p. 117).

monopolies van elektriciteitscentrales op basis van schaalvoordelen.⁷⁰ De elektrificatie van de industrie leidde tot allerlei micro-economische voordelen voor bedrijven, zoals een efficiëntere organisatie van de fabriek en het productieproces en een stijging van de arbeidsproductiviteit.⁷¹

Industriële dynamo's zorgden bijvoorbeeld voor een meer decentrale organisatie van het bedrijfsproces (denk aan de organisatie van de fabriek rondom de lopende band, zoals in de fabrieken van Ford), schonere en beter verlichte fabrieken (Taylor experimenteerde al 1889 met verlichting om de productiviteit van zijn werknemers te verhogen) en nieuwe industriële apparaten die de totale factorproductiviteit verhoogden. Elektriciteit maakte de werkplek ook veiliger, stiller en schoner ten opzichte van de gaslamp, en de gloeilamp zorgde bovendien voor beter licht en verhoogde zo de arbeidsproductiviteit. Ook andere elektromechanische innovaties vonden hun weg naar de werkvloer, zoals brandalarmen maar ook klokken en andere vormen van elektrische 'surveillance-technieken' die de werkgever hielpen de werknemer beter te controleren. Deze combinatie van nieuwe managementtechnieken en elektriciteit leidde tot een grote productiviteitsstijging van wel 300% tussen 1890 en 1940.⁷²

Daarnaast was elektriciteit een belangrijke factor in het ontwikkelen van elektrochemische processen in de staalindustrie, zoals sinds de jaren 1870 elektrometallurgie (bijvoorbeeld de elektrolyse van koper en chloor). Dankzij elektrochemische processen werd het bijvoorbeeld mogelijk om aluminium en plastic in grote hoeveelheden te produceren, wat zelf weer een stimulans was voor de elektrische industrie voor de constructie van transmissielijnen. De opkomende staalindustrie werd toegepast voor industriële, maar ook voor militaire doeleinden, zoals het fabriceren van onderzeeërs en oceaanschepen.⁷³

Vanaf het moment dat de elektro-industrie samenging met de zware industrie en elektrochemische industrie ontstond wat Freeman en Louça *the Age of Steel, Electricity and Heavy Engineering* noemen. Deze convergentie van zware industrie en elektrotechnische technologie met chemie was het sterkst zichtbaar in Duitsland, waar een hechte samenwerking ontstond tussen wetenschappers, ingenieurs en chemici, en waar wetenschappelijk onderzoek direct en nauw verbonden was met industriële ontwikkeling.⁷⁴ Maar omdat vraag en aanbod beter op elkaar afgestemd konden worden, ontstond zo ook de eerste

70 Lipsey et al. 2005: 200.

71 Mumford 2010: 224-225.

72 Bakker 2017: 96-98.

73 Cardwell 2001: 468-470.

74 Freeman en Louça 2001: 226-27.

vorm van ‘technologische werkloosheid’: productiviteitsstijging zorgde ervoor dat sommige arbeiders overbodig werden, ondanks dat de productie in zijn geheel groeide.⁷⁵

Dit nieuwe institutionele en industriële paradigma ontstond pas later in Engeland, vanwege een inertie in de stoom- en kolenindustrie (de basis van de eerste industriële revolutie). In zijn boek *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930* vergelijkt Thomas Hughes⁷⁶ de ontwikkeling van de elektriciteitssystemen van Berlijn, Chicago en Londen. Volgens Hughes moeten we de ontwikkeling van elektriciteit bestuderen als ‘groot technisch systeem’ (*large technical system*), met drie fasen van ontwikkeling:

1. uitvinding van de technologie en fundamenteel onderzoek, gedreven door wetenschappers en ondernemers die tegelijkertijd uitvinder zijn;
2. diffusie en verspreiding van de technologie, met name gedreven door bedrijfsondernemers, investeerders, bedrijven, politici en managers;
3. systeemontwikkeling, waarbij uitvinders, ondernemers en ingenieurs samenwerken om kritische problemen (zoals het omschakelen van DC-naar AC-systemen) en *reverse salients* (technische componenten van het systeem die onderontwikkeld zijn en daarmee de gehele systeemontwikkeling tegenhouden, zoals de opslag van elektrische energie) op te lossen voor verdere systeemgroei.

75 Mumford 2010: 228. Morin (2015) stelt dat elektriciteit een sterk arbeidsbesparende technologie was en 15-25% van de daling van werkgelegenheid van de Grote Depressie verklaart.

76 Hughes 1983.

We zagen al dat de ontwikkeling van elektriciteit tot het laatste kwart van de negentiende eeuw vooral gedreven werd door wetenschappelijke curiositeit, de eerste fase van het elektriciteitssysteem. Van de ontwikkeling van Edisons gloeilamp in 1879, via de opkomst van de elektrochemische industrie in de jaren 1870 en de ontwikkeling van AC-systemen in de jaren 1880 komen we bij de tweede fase van systeemontwikkeling van elektriciteit, waarin inderdaad managers, politici en investeerders een belangrijkere rol speelden.⁷⁷

In Londen zorgde beperkende wetgeving tot beperkte investeringen van private partijen; de politieke elite had nog sterke belangen in de stoom- en kolenindustrie, en wilde daarom elektriciteit en het elektriciteitssysteem tegenhouden.⁷⁸ Chicago vormt een contrast hierop. Deze stad had geen lokale aristocratie met gevestigde belangen in *legacy infrastructure* en industrieën, waardoor ondernemers de lokale politiek gemakkelijk konden omkopen en manipuleren en elektriciteitstechnologie ruim baan kreeg.⁷⁹ In Berlijn bestond er een evenwicht tussen economische en politieke belangen, vanuit een gedeeld ideaal om Duitsland te moderniseren en te elektrificeren. Daardoor werd de ontwikkeling van het elektriciteitssysteem gecoördineerd door de lokale politiek in samenwerking met de industrie en lokale investeringsbanken (*Kreditbanken*).⁸⁰

Als gevolg van deze ontwikkelingen verloor Engeland zijn leidende positie vanaf de jaren 1890, toen elektriciteit snel een weg vond naar huishoudens en fabrieken in Duitsland en de vs, en daarmee zorgde voor een enorme productiviteits- en welvaartsstijging. Vanaf begin twintigste eeuw werd de vs de leidende wereldmacht in termen van bbp, gevolgd door Duitsland, dankzij zijn expertise in elektrotechniek en zijn sterke militair-industriële complex.

77 Het was de Amerikaanse ondernemer Samuel Insull die in het begin van de twintigste eeuw de goedkope elektriciteit van Edisons bedrijven naar Amerikaanse huishoudens bracht. Dit deed hij door een hele industriële sector van elektrische apparaten te creëren die zonder elektriciteit niet had kunnen bestaan, en zo de vraag naar elektriciteit te stimuleren. Hij loste enkele belangrijke bedrijfskundige vraagstukken op rondom het aanbod van elektriciteit (bijvoorbeeld door vraagmeters en een tweeledig prijssysteem te introduceren), en stimuleerde daarmee de massaconsumptie van elektriciteit. De innovaties in elektrotechniek stelden hem in staat om een netwerk van centrale krachtcentrales te creëren die wisselstroomstromen op hoogspanning via ondergrondse draden naar onderstations verdeelden, waar roterende converters de stroom in gelijkstroom veranderden voor de distributie naar klanten. Uiteindelijk slaagde hij erin om heel Chicago van stroom te voorzien vanaf één centrale locatie (Fisk Street Station) (Klein 2007: 99-101). Ten slotte introduceerde hij financiële innovaties om het verbruik van elektrische goederen te stimuleren, en overtuigde hij politici dat een elektriciteitsnet het beste functioneerde als er een nutsbedrijf met een monopolie was die elektriciteit democratiseerde maar die wel onder stevig overheidstoezicht stond (Klein 2007: 102).

78 Hughes 1983.

79 Hughes 1983: 201.

80 Hughes 1983: 179.

Maatschappelijk debat

Angst voor dominantie van de Amerikaanse en Duitse bedrijven

De groei van de elektrische toeleveringsindustrie in de jaren 1890 en schaalvoordelen van het proces van energie opwekken zorgden ervoor dat er in de vs drie grote elektriciteitsbedrijven ontstonden: de Edison General Electric Company, de Thomson-Houston Company en de George Westinghouse Company. In 1894 fuseerden de Edison Company en Thomson-Houston tot de General Electric Company (GE). In Europa waren Siemens-Halske (uit Berlijn) en het Oostenrijks-Hongaarse bedrijf Ganz (uit Boedapest) de belangrijkste elektriciteitsleveranciers.

Met de opkomst van deze grote bedrijven ontstonden de eerste echte 'multinationals'.⁸¹ Vlak voor het uitbreken van de Eerste Wereldoorlog waren GE en Westinghouse uit de vs en Siemens en AEG uit Duitsland de grootste bedrijven ter wereld, gedreven door fusies om de schaal en de toegang tot kapitaal te vergroten. Dit zorgde voor de angst in andere landen voor een 'wereldkartel'.⁸² In 1903 bereikten Rathenau van AEG en GE een overeenkomst om de wereld te 'verdelen', waarbij AEG dominant zou worden in Europa en Edisons GE in Noord-Amerika.⁸³

De vs leidde daarmee, samen met Duitsland, in het produceren en exporteren van elektriciteitstechnologie en elektrische machines. Zo bedroeg de invoer van Amerikaanse elektrische machines ongeveer 50 procent van de totale Amerikaanse invoer naar Engeland. Dit resulteerde in Engeland in een angst voor een 'Amerikaanse invasie' en de 'wolf van de Amerikaanse concurrentie' in de elektriciteitsindustrie en daarmee de gehele industriële economie.⁸⁴

De Britten bleven dus achter in de ontwikkeling van elektromechanica en elektrische machines. Wel slaagden zij erin hun strategische dominantie in internationale communicatie te behouden door draadloze telegrafische netwerken te installeren, met hulp van de Italiaanse ingenieur Marconi.⁸⁵ De Britten kwamen met een nieuw plan van een 'imperiale keten' van draadloze stations. Daarmee werd de wisselstroomdynamo het middelpunt van de internationale strijd rondom de ontwikkeling van een draadloos systeem van intercontinentale communicatie.⁸⁶ Na de Eerste Wereldoorlog wilde de vs een

81 Cardwell 2001: 465-467.

82 Cardwell 2001: 224.

83 Hughes 1983: 179.

84 Brittain 1974.

85 Cardwell 2001: 495.

86 Brittain 1974.

alternatief opzetten voor deze Britse imperiale keten van communicatie, en voorkwam de Amerikaanse marine de verkoop van vele 200 kW-wisselstroom-dynamo's van Edisons GE. Toch verhinderden technische en nationalistische factoren de radiohegemonie van de daartoe opgerichte Radio Corporation of America. Frankrijk en Duitsland bouwden vervolgens hun eigen radiostations voor nationale communicatie.

Deze ontwikkelingen duiden erop dat het politieke en culturele klimaat waarin de Amerikaanse bedrijven GE en Westinghouse hun technologie patenteerden en exporteerden in de naoorlogse jaren veranderde. Het was het gevolg van nationalisme en een strategischer blik op elektriciteit en elektrotechniek. Dit kwam bijvoorbeeld tot uiting in het feit dat bedrijven alleen nog nationale ingenieurs en managers inhuurden. De eerste vorm van een 'militair-industrieel complex' ontstond toen overheden en het leger zich bewust werden van het potentieel van nieuwe technologie in de oorlog.⁸⁷

Elektriciteit en het vooruitgangsgeloof

Door de integratie van zware industrie, elektriciteit en staal ontstonden gigantische nieuwe bedrijven, die pionierden met nieuwe managementtechnieken en verder geprofessionaliseerde R&D. In toenemende mate kwamen innovatie en toepassing van elektriciteit daarmee uit onderzoekscentra die elektrische toepassingen ontwikkelden vanuit een winstoogmerk en niet vanuit de academie. De nieuwe nutsbedrijven hadden er belang bij hun netwerken onderling te verbinden om de levering van stroom te kunnen garanderen in geval van technische problemen. Daarom werden de eerste lokale netwerken en kleine lokale energiebedrijven geabsorbeerd door grotere netwerken en begonnen onderling verbonden netwerken meerdere staten te dekken (zoals in Europese netwerken). Deze toenemende dichtheid van stroomnetwerken in stedelijke centra leidde echter tot problemen, zoals een warboel van stroomkabels en veiligheidsrisico's vanwege los- of laaghangende kabels.⁸⁸ Als gevolg hiervan kwam er regulering die de private nutsbedrijven verplichtte verantwoordelijkheid te nemen voor de veiligheid van het elektriciteitsnet.⁸⁹

Zo leidde elektriciteit op macro-economische schaal tot een lagere energie-intensiteit van de economie, groei van levensstandaarden, meer consumptie en productiviteitsgroei.⁹⁰ Dit was vooral in Amerika al vroeg zichtbaar en Klein beschrijft de periode van 1870 tot 1930 dan ook als het ontstaan van een

87 Brittain 1974.

88 Bakker 2017: 80.

89 Klein 2007: 500.

90 Lipsey et al. 2005: 200-201.

nieuw, industrieel Amerika. Zo werd elektriciteit ook nadrukkelijk onderdeel van het vooruitgangsgeloof uit de negentiende eeuw en maakte zij het dagelijks leven schoner, stiller en beter, terwijl de enorme groei van productie in de VS als gevolg van systematische elektrificatie tot de eerste moderne consumptie-maatschappij leidde. Elektriciteit werd een “defining element of a great civilization”.⁹¹

Tegen het eind van de negentiende eeuw verschenen er dan ook veel utopische boeken en andere publicaties over de elektrificatie van Amerika.⁹² Zo beargumenteerden Edison en andere voorstanders van de elektrificatie van huishoudens hoe elektrische apparaten het leven van de huisvrouw zouden verbeteren: door veel tijd te besparen en het huishouden te ‘bevrijden’, zodat vrouwen de kans kregen zich op een gelijke manier te ontwikkelen als de man.⁹³ Daarnaast zou vooruitgang van wetenschappelijke kennis over elektriciteit en elektrotechniek leiden tot het oplossen van internationale misverstanden, en zo zouden grote oorlogen kunnen worden voorkomen. Later stelde ook techniekfilosoof Lewis Mumford in zijn boek *Technics and Civilization* uit 1934⁹⁴ dat elektriciteit een nieuw technisch complex inleidde. De viezigheid en uitbuitende effecten van de kolen- en mijneconomie zouden daarin plaatsmaken voor de schoonheid, flexibiliteit en algemene verbetering van levensomstandigheden als gevolg van de elektrificatie van de leefwereld.

Het waren vooral de ingenieurs en wetenschappers die pleitten voor het democratiseren van elektriciteit. Toch bleven in veel gebieden tot 1930 de economische overwegingen belangrijker dan de sociale. Zo werden ziekenhuizen, scholen en gevangenissen tot die tijd niet geëlektrificeerd.

3.3 De verbrandingsmotor

Ontwikkeling

De ontwikkeling van de verbrandingsmotor was, net als elektriciteit, het resultaat van parallelle ontwikkelingspaden in de Verenigde Staten en Europa, en meer specifiek Frankrijk en Duitsland. Vergeleken met elektriciteit was de ontwikkeling van de verbrandingsmotor echter veel minder het resultaat van wetenschappelijk onderzoek. Al in de eerste helft van de negentiende eeuw ontwierpen de Zwitser François Isaac de Rivaz en de Belg Jean Joseph Etienne Lenoir de eerste verbrandingsmotoren op basis van een enkele cilinder. Lenoirs

91 Klein 2007: 179.

92 Nye 1990: 146-147.

93 Bakker 2017: 89.

94 Mumford 2010.

ontwerp vond ook daadwerkelijk kleinschalige toepassing. Een doorbraak kwam echter met het ontwerp van de veel efficiëntere viertaktmotor van Duitser Nikolaus Otto in de jaren zestig en zeventig. Otto's ideeën werden verder ontwikkeld door Karl Benz, die ook het eerste patent op een verbrandingsmotor verkreeg in 1879. Benz was ook de eerste die een patent verwierf voor een auto aangedreven door een verbrandingsmotor.

Tegelijkertijd werkten de Amerikanen George Brayton en George B. Selden aan soortgelijke motoren. Selden wist ook in 1879 het eerste Amerikaanse patent op de automobiel verkrijgen. Dit patent leverde hem meer dan dertig jaar lang royalty's op van andere Amerikaanse autobouwers die, tot een gerechtelijke uitspraak in 1911, niet om zijn patent heen konden. Ondertussen had Rudolf Diesel in Duitsland zijn eigen type motor ontwikkeld, op basis van zelfontbranding in plaats van ontsteking (door middel van een bougie). Deze motor zou aanvankelijk vooral gebruikt worden voor zware toepassingen in bijvoorbeeld vrachtwagens en schepen.⁹⁵

Diffusie en inbedding

De parallelle ontwikkeling van deze motoren over de gehele moderne wereld vertaalde zich ook in de verspreiding van hun belangrijkste toepassing: de automobiel. Na een korte periode van competitie met andere typen auto's (de elektrische en de stoom-aangedreven automobiel) begon de auto met verbrandingsmotor aan een onstuitbare opmars. Er waren weliswaar verschillen tussen landen in de snelheid waarmee de auto zijn gebruikers bereikte, maar deze waren bijvoorbeeld bij lange na niet zo groot als bij de stoommachine. Aan het eind van de negentiende eeuw nam Frankrijk aanvankelijk het voortouw bij de productie van auto's, maar vanaf 1904 wist de Amerikaanse auto-industrie meer auto's te produceren. In 1907 bedroeg de Amerikaanse productie van auto's een totaal van 44.000, tegen 25.000 in Frankrijk en 12.000 in het Verenigd Koninkrijk. Vreemd genoeg kwam Duitsland, als pionier van de technologie, niet verder dan 5.000 auto's.⁹⁶ Overigens kwamen Amerikaanse auto's uit meer dan 250 verschillende fabrieken, wat illustreert dat het produceren van een auto geen exclusieve bezigheid was van een handvol uitvinders. In de volgende jaren zou deze industrie zich snel consolideren en uiteindelijk uitmonden in de bekende *Big Three* (Ford, General Motors en Chrysler).

95 Op deze wijze heeft de Dieselmotor een fundamentele bijdrage geleverd aan de globalisering van handel (denk aan containerschepen met Dieselmotoren) (Smil 2010).

96 Flink 1990: 25.

De snelle groei van de Amerikaanse auto-industrie werd mogelijk gemaakt door de snelle modernisering van de Amerikaanse industrie als geheel (gedreven door elektrificatie en moderne managementprincipes) en de relatief grote welvaart ten opzichte van Europese economieën. Dankzij dit laatste konden veel Amerikanen een auto aanschaffen. Dit was zeker het geval na de introductie van Ford's Model T in 1908 en de daaropvolgende snelle prijsdaling van auto's in het algemeen. In 1910 bezat nog slechts 1 procent van alle Amerikaanse huishoudens een auto, twintig jaar later gold dit al voor de helft van de huishoudens. Als huishoudens zelf niet direct over het kapitaal beschikten dan konden ze gemakkelijk lenen; autofabrikanten zagen al snel de meerwaarde van kredietverstrekking en in de jaren twintig werd zo'n driekwart van alle auto's gekocht met behulp van een lening.⁹⁷

De grote mate van beschikbaarheid van de technologie aan weerszijden van de Atlantische Oceaan betekende niet dat er geen strategische waarde werd toegekend aan de inzet van verbrandingsmotoren en automobielen. Zowel in de vs als in Europa namen overheden, al dan niet aangespoord door een industriële lobby, het voortouw in de aanleg van (snel)wegen. Dit paste in het beeld van overheden die rond de eeuwwisseling sowieso een actievere rol gingen spelen in de bevordering van technologische ontwikkeling en toepassing – niet alleen meer voor zichzelf, maar ten gunste van de gehele bevolking.

In de vs leidde dit al vrij snel tot de Federal Aid Road Act van 1916 en de Federal Highway Act in 1921. Beide droegen bij aan de opbouw van een netwerk van snelwegen, grotendeels gefinancierd vanuit brandstofaccijns en mede mogelijk gemaakt door duizenden vrachtwagens die uit Europa waren teruggekeerd na de Eerste Wereldoorlog. De New Deal, die volgde op de Grote Depressie, richtte zich vervolgens ook op werkverschaffing in de verdere aanleg van (snel)wegen.

In Europa werd een soortgelijke ontwikkeling aangewakkerd vanuit Noord-Italië, waar Piero Puricelli in 1921 het idee van een Europees netwerk van snelwegen introduceerde. Dit idee werd enerzijds gedreven door ingenieurs en autofabrikanten; zo zou de auto een grotere rol kunnen spelen in het dagelijks leven en de economie. Anderzijds sloot de bouw van zo'n netwerk ook aan bij het politieke ideaal van economische groei en intensievere samenwerking en pacificatie binnen Europa.⁹⁸ Verschillende ontwerpen werden getekend, maar een daadwerkelijk Europees netwerk van snelwegen zou pas na de Tweede Wereldoorlog gerealiseerd worden. Toen werd dit gedreven door Amerikaanse belangen in Europa en de overtuiging dat de auto zou bijdragen aan de verspreiding van Amerikaanse idealen als individuele vrijheid.

97

Bakker 2017: 134.

98

Kaiser en Schot 2014.

Maatschappelijk debat

De opkomst van de verbrandingsmotor en gemotoriseerd transport werd aanvankelijk breed omarmd. Velen zagen hierin de oplossing voor maatschappelijke problemen. Dit was niet zo verwonderlijk, aangezien de auto door fabrikanten en de nieuw opgerichte belangenverenigingen (zoals de ANWB in Nederland en de Automobile Club of America en de American Automobile Association in de VS) breeduit werd geïntroduceerd als vaandeldrager van vooruitgang en moderniteit.⁹⁹ Dit gebeurde ook al heel vroeg op autoshows en met allerlei races en snelheidsrecords.

De auto zou onder meer de vervuiling van steden helpen oplossen. De grote steden waren overvol en vrijwel al het vervoer, afgezien van een enkele elektrische tram, was afhankelijk van paardenkracht en leidde tot grote hoeveelheden mest. De daarmee gepaard gaande stankoverlast en ongebreidelde verspreiding van ziekten deden afbreuk aan de leefbaarheid. Velen, onder wie Henry Ford, zagen de auto als een veel schoner en sneller alternatief en voorzagen een toekomst waarin steden weer schoon en ordelijk zouden worden. Deze naïeve gedachte werd vooral ingegeven door het idee dat de auto niets meer of minder zou zijn dan een vervanger van de paardenkoets (zo stond de auto bekend als de *horseless carriage*). Men zag over het hoofd dat de voordelen van de auto zouden leiden tot een veel grotere, en sterk geïndividualiseerde, vraag naar vervoer. De filosoof Lewis Mumford was een van de weinigen die wel inzag dat de ontwikkeling van de auto haaks stond op het ideaal van de leefbare en gezonde stad.¹⁰⁰

Ook op andere gebieden leefden hoopvolle gedachten met betrekking tot de verbrandingsmotor. Rudolf Diesel, bijvoorbeeld, verzag dat zijn kleine en efficiënte motor zou leiden tot decentralisatie van de productie en tot de wederopstanding van de kleine ondernemer en vakman. Zijn motor zou hen in staat stellen te concurreren met de gigantische fabrieken die werden aangedreven door een centrale stoommachine.¹⁰¹ De verbrandingsmotor bood ook een antwoord op de vrees van velen, in de tweede helft van de negentiende eeuw, dat de maatschappij te zeer afhankelijk was geworden van steenkolen en dat de voorraden daarvan snel op zouden raken. In het Verenigd Koninkrijk werd dit idee gepopulariseerd in het boek *The Coal Question* van Stanley Jevons uit 1865.¹⁰² Met de komst van de verbrandingsmotor zou dit probleem (voorgoed) opgelost kunnen worden. Bovendien zagen verschillende eigenaren van (koloniale) plantages een grote toekomst voor hun producten, zoals palmolie.

99 Kanger et al. 2019.

100 Mumford 2010.

101 Thomas 1978.

102 Missemer 2012.

Zodra auto's daadwerkelijk rondreden kantelde het beeld echter snel. Automobilisten zorgden voor gevaarlijke toestanden en de eerste (dodelijke) ongelukken lieten niet lang op zich wachten. Ook werden andere weggebruikers, van voetgangers tot marktkooplui, al snel van de straat verdreven. Deze situatie leidde tot grootschalige protesten in zowel de vs als Europa. Automobilisten werden gezien als een elitaire groep die met hun *devil wagons* en 'speeltjes voor rijken' het leven zuur maakten van een veel bredere en grotere groep niet-autogebruikers. De auto werd, in ieder geval in de vs, ook geassocieerd met *whiteness* en was in de beginjaren absoluut niet de democratische technologie die automakers hadden voorgespiegeld. Het protest tegen de auto kwam van een brede coalitie van fietsers, voetgangers, jongeren en boeren en men vroeg om wet- en regelgeving om wantoestanden te voorkomen. In enkele gevallen kwam het zelfs tot gewelddadigheden tegen automobilisten.¹⁰³

De eerste regelgeving voor auto's betrof maximumsnelheden en gedurende de jaren twintig werd er in de vs zelfs gesproken over de invoering van een verplichte snelheidsbegrenzer in alle voertuigen. Zo ondertekende in Cincinnati in 1923 10 procent van de bevolking een petitie voor de invoering van zo'n begrenzer, met een maximumsnelheid van 25 mph.¹⁰⁴ Uiteindelijk haalde dit voorstel de eindstreep niet, mede door een stevige lobby door de lokale autosector.

Daar waar tot diep in de jaren twintig de tegenstanders van de auto in het publieke debat de overhand hadden, veranderde dit beeld in de jaren dertig. De beter georganiseerde autolobby slaagde erin, onder meer via educatie, de bevolking ervan te overtuigen dat straten en wegen vooral bedoeld waren voor auto's. Zo werd kinderen geleerd dat zij moesten oppassen bij het oversteken, en niet zozeer de automobilist, en leerden ze feitelijk dat ze niet op straat thuishoorden. Hoewel er ook regels werden ontwikkeld voor automobilisten (zoals de invoering van het rijbewijs en stoplichten), lag het zwaartepunt bij de nieuwe regelgeving op geboden en verboden voor fietsers en voetgangers. Zoals eerder benoemd was dit ook heel nadrukkelijk een klassenstrijd, die in de vs werd gewonnen door de welvarende automobilisten. In de Sovjet-Unie lag de situatie anders: daar koos de staat nadrukkelijk voor het openbaar vervoer (metro, tram en bussen) en kreeg de auto veel minder de overhand. De meeste Europese landen kozen hierin een tussenweg.¹⁰⁵

103 Kanger et al. 2019.

104 Norton 2011: 96.

105 Van der Vleuten et al. 2017: 85.

Vanaf de jaren twintig ontstond er ook aandacht voor problemen van (stedelijke) luchtverontreiniging. In eerste instantie ging die aandacht uit naar loodhoudende additieven die aan benzine werden toegevoegd om het zogenaamde kloppen van de motor tegen te gaan (veroorzaakt door spontane en schadelijke ontbranding van brandstof). De ontdekking van deze additieven was een belangrijke stap voorwaarts geweest voor de auto-industrie, en het was moeilijk te accepteren en toe te geven dat dit tot grote gezondheidsproblemen leidde. Uiteindelijk werden deze additieven pas in de jaren zeventig in de ban gedaan, na een lange strijd tussen burgers en wetenschappers enerzijds en de auto- en chemische industrie anderzijds.¹⁰⁶

Vanaf de jaren veertig werd het ook steeds duidelijker dat auto- en vrachtverkeer een significante bijdrage levert aan (stedelijke) luchtverontreiniging. Met name in Los Angeles werd het smogprobleem steeds ernstiger. Het werd voor de auto-lobby ook steeds moeilijker om vol te houden dat dit voornamelijk het gevolg was van industriële processen. Vanwege de acute gezondheidsproblemen die dit opleverde koos Californië er in de jaren zestig voor om strengere eisen te stellen aan de uitstoot van voertuigen. Dit gebeurde overigens pas nadat de industrie er niet in slaagde om zichzelf te reguleren.¹⁰⁷

3.4 Informatietechnologie

Ontwikkeling

Vanaf de vroege ontwikkeling van de computer hebben we verschillende ‘regimes’ van informatietechnologie (IT) gekend. Momenteel is het digitale computerregime dominant en alomtegenwoordig,¹⁰⁸ maar voorheen waren ook bijvoorbeeld ponskaartcomputers, manuele wiskundecomputers en analoge computers in omloop. Deze regimes bleven soms tot lang na de uitvinding van de digitale computer in gebruik omdat ze beter, sneller en/of goedkoper waren. Uiteindelijk kreeg de digitale computer toch de overhand, vanwege het grote aantal operaties dat deze computer autonoom en zeer snel kon uitvoeren.¹⁰⁹

Zoals vermeld in paragraaf 3.2 lag elektrotechniek aan de basis van de ontwikkeling van de computer. De Amerikaanse uitvinder Lee de Forest ontwikkelde in 1906 de eerste versterkerbuis (triode) waarmee audiocommunicatie via radio een praktische mogelijkheid werd. Op basis van deze technologie ontwikkelden

106 Jacobson 2012: 69.

107 Lee et al. 2010.

108 Mogelijk kan de introductie van kwantumcomputers, die werken volgens andere computertechnieken en principes, een nieuw *computing regime* introduceren. *Rapporten schatten dat kwantumcomputers pas over tien tot twintig jaar superieur zullen zijn aan digitale computers voor bepaalde rekentaken* (zie bijvoorbeeld Langione et al. 2019).

109 Van den Ende en Kemp 1999.

Bardeen, Brattain en Shockley in 1947 de eerste transistor bij Bell Telephone Laboratories. Tien jaar later ontwikkelde Mohamed Atalla, bij dezelfde laboratoria, op basis van deze transistortechnologie het eerste elektrisch gestabiliseerde siliciumoppervlak. Dit leidde in 1959 tot een doorbraak in de halfgeleidertechnologie (*semiconductor*) en tot de ontwikkeling van de monolithische chip met geïntegreerde schakeling (MOSFET). Deze kon massaal en tegen veel lagere kosten worden geproduceerd en bracht een revolutie teweeg in de elektronica-industrie.

De grootschalige integratie van transistors op een enkele chip volgde in de late jaren 1960, met de MOSFET als basis voor deze eerste ‘microprocessors’. Deze culmineerden uiteindelijk, in 1971, tot de eerste *single-chip*-microprocessor van Intel (de Intel 4004).¹¹⁰ Pas toen kon de miniaturisatie van elektronica beginnen. Complementaire innovaties als software, interfaces, netwerktechnologie en computer hardware leidden ertoe dat steeds meer mensen computers en IT konden gebruiken, buiten de initiële groep van zeer gespecialiseerde academici en ingenieurs. Ze leidden ook tot de ontwikkeling van gedecentraliseerde pc’s: minicomputers die werden gebruikt voor administratieve doeleinden bij bedrijven en overheden. Deze pc’s werden ontwikkeld vanaf de jaren zestig.¹¹¹

Het ontstaan van het internet

De ‘Spoetnikcrisis’ uit 1957¹¹² leidde tot grootschalige mobilisatie van \ Administration (NASA) en het Advanced Research Projects Agency (ARPA). Met name ARPA – later DARPA – speelde een cruciale rol in de ontwikkeling van het internet zoals we dat nu kennen, door in 1969 vier *host computers* te verbinden via ARPANET, de voorloper van het huidige internet. Naughton¹¹³ stelt dat het internet zich ontwikkelde van een civiel-academisch naar een militair project toen ARPA de operationele verantwoordelijkheid van het internet afstond aan de US Defense Communications Agency (DCA), en het internet ten dienste van militaire toepassingen kwam te staan.

De diffusie van het internet versnelde in de jaren tachtig en negentig. De ontwikkelingen volgden elkaar in hoog tempo op: de eerste consumententoepassing van IT, zoals de pc van IBM (1981), de ontwikkeling van het World Wide

110 Volgens Perez (2002: 12) was het deze innovatie die leidde tot “the birth of the Information Age, based on the amazing power of low-cost microelectronics”, en volgens Jovanovic en Rousseau (2005) tot de *era of IT*.

111 Bakker 2017: 191.

112 Op 4 oktober 1957 lanceerde de Sovjet-Unie de eerste kunstmatige satelliet, Spoetnik 1. Dit had grote gevolgen voor de verhoudingen tussen de Sovjet-Unie en de VS, die zich tot die tijd superieur waande ten opzichte van de Sovjet-Unie en nu plotseling het onderspit moest delven. De zogenoemde Spoetnikcrisis die hiermee ontstond geldt als een keerpunt in de Koude Oorlog.

113 Naughton 2016.

Web en het Hypertext Transfer Protocol (HTTP) in 1991, de introductie van de eerste Mosaic-webbrowser (1993), de privatisering van het internet in 1994 via private Internet Service Providers (ISP's) en de ontwikkeling van Java door Sun Microsystems en Windows 95 van Microsoft (1995).

Diffusie en inbedding

De nauwe verbinding tussen IT en militaire toepassingen

Vanaf de eerste innovaties in IT bestond er een nauwe samenwerking tussen de private en publieke sector, tussen de industrie en het leger en tussen ingenieurs en wetenschappers, net zoals bij elektriciteit. Landen met sterke academische instituties en wetenschap – Duitsland, het VK en de VS – werden leiders in de ontwikkeling van IT. Zij profiteerden van de onderzoekscentra die nog stamden uit de *era of electricity* (zoals Bell Telephone Laboratories in de VS) en innovaties uit de elektrotechniek (zoals de transistor).

De eerste computers dienden alleen militaire doeleinden: de Duitse Z3 (1941) werd ingezet om gevechtsapparatuur en wapens voor de Duitse oorlogsindustrie te ontwikkelen; de Engelse Colossus (1943) moest de Duitse militaire Enigmacodes kraken (en leverde ook belangrijke informatie voor de geallieerden tijdens D-day);¹¹⁴ de Amerikaanse ENIAC (1946) werd ontwikkeld in opdracht van de US Navy voor ballistische berekeningen van kruisraketten; IBM ontwikkelde de Defense Calculator en FORTRAN-programmeertaal voor communicatie binnen het Amerikaanse leger voor de Koreaanse Oorlog; en de eerste 'supercomputers' werden ingezet voor het ontwikkelen van nucleair wapenarsenaal (zoals de Stretch van IBM in 1961 en LARC van Sperry-Rand in 1960) of voor de Amerikaanse marine (zoals de IBM Naval Ordnance Research Calculator uit 1951).¹¹⁵

Tijdens het interbellum groeide sterk het besef dat innovaties uit deze radio- en andere communicatietechnologie van groot strategisch belang waren.¹¹⁶

Zo werd IT de eerste industrie met brede steun vanuit de overheid. De export van innovaties werd onderworpen aan strenge regulering en overheidstoezicht.¹¹⁷

114 Channell 2017: 142.

115 Channell 2017: 142

116 In de VS met name door het rapport van Vannevar Bush, *Science, the Endless Frontier uit 1945, waarin hij stelde dat wetenschap en technologische innovatie een cruciaal aspect zijn van oorlog en dus geopolitieke macht. Bush werd daarop hoofd van de National Defense Research Committee, wat het begin was het van industrieel-militair-academisch complex in de VS. Bush smeedde de nauwe samenwerking tussen de academie, de industrie en het leger in de VS in de decennia na de Tweede Wereldoorlog* (Channell 2017: 130-31).

117 Freeman en Louça 2001: 305-306.

IT is, net als andere *large technical systems* zoals elektriciteit, sterk afhankelijk van fundamenteel onderzoek met een mate van onzekerheid, is kapitaalintensief en heeft daarmee ook een sterke dynamiek van toenemende schaalopbrengsten en agglomeratie-effecten (zoals in Silicon Valley). Dit betekent dat initieel alleen de grootste bedrijven konden investeren in IT-technologie.¹¹⁸ Het Amerikaanse ministerie van Defensie financierde relatief vroeg – in de jaren vijftig – het onderzoek naar halfgeleiders, terwijl er op dat moment nog geen commerciële toepassingen werden voorzien voor deze technologie. Ook het IT-ecosysteem rondom Silicon Valley is geboren uit de grote investeringen van Amerikaanse overheidsinstanties, subsidies aan STEM-onderzoek voor Amerikaanse bedrijven en de aanwezigheid van het Amerikaanse ministerie van Defensie.¹¹⁹

De studie *Funding a Revolution: Government support for Computer Research*¹²⁰ laat zien dat de Amerikaanse federale overheid een grote rol heeft gespeeld in de ontwikkeling van computers en IT. Specifiek wordt hierin duidelijk dat federale overheidsfinanciering en investeringen een cruciale bijdrage hebben geleverd aan de uitvinding en ontwikkeling van relationele databases, het internet, fundamenteel onderzoek in de computerwetenschappen, kunstmatige intelligentie en *virtual reality*. Zo was de ontwikkeling van IT tot eind jaren tachtig sterk verbonden met militaire belangen en overheidsfinanciering, en waren de digitale computer, transistor en geïntegreerde schakeling onderdeel van “the military-industrial–academic complex and big science into technoscience during the Cold War”.¹²¹ Frank Rose stelt dat “the computerization of society, then, has essentially been a side effect of the computerization of war”.¹²²

Tegen het einde van de Koude Oorlog ontstond er meer ruimte voor Amerikaanse bedrijven om hun technologie onder licentie beschikbaar te stellen voor buitenlandse gebruiker. Hierdoor werd wereldwijde diffusie van IT-technologie en software relatief vrij. Caselli en Coleman¹²³ en Milner¹²⁴ vinden overigens geen bewijs dat de adoptie van IT en het internet beïnvloed is door ‘hegemonische druk’; zij stellen dat economische factoren en binnenlands politiek beleid het belangrijkste waren. Daarnaast werd IT gezien als *technologies of freedom* en werd export ervan gestimuleerd vanuit ideologische overwegingen.

118 Freeman en Louça 2001: 308-309.

119 Mazzucato 2013. “Highlighting the active role that the State has played in the ‘hotbeds’ of innovation and entrepreneurship – like Silicon Valley – was the key to showing that the State can not only facilitate the knowledge economy, but actively create it with a bold vision and targeted investment” (Mazzucato 2013: 26).

120 National Research Council 1999.

121 Channell 2017: 205.

122 Rose 1984: 36.

123 Caselli en Coleman 2001.

124 Milner 2003.

Een belangrijk boek daarin was *The Mighty Micro: The Impact of the Micro-Chip Revolution* van Christopher Evans uit 1979, waarin hij beschreef hoe IT en het internet een wereldwijde informatiesamenleving zouden scheppen, die ook autoritaire regimes en uitbuitende en onderdrukkende structuren zouden ondermijnen.¹²⁵ In het bijzonder stimuleerde de academische kring de export van IT, vanuit het belang van academische vrijheid, onderzoek en het vormen van virtuele wetenschappelijke gemeenschappen.

Het internet

Het internet, een *packet-switching* systeem om programma's en computers uit Amerikaanse onderzoekscentra van DARPA met elkaar te verbinden, stond zoals gezegd onder militaire controle.¹²⁶ In de jaren zeventig werden verschillende netwerkprojecten ontwikkeld. Het netwerk van al deze netwerken ('inter-net') tussen ARPANET-*host computers* werd ook internationaal verbonden met academische onderzoeksgroepen, zoals in 1973 met het University College of London en het Noorse NORsAR. In de jaren tachtig kreeg een selectie andere landen, die als partners van de VS werden gezien, ook toegang tot internettechnologie, zoals Israël, Zuid-Korea, Japan, Nieuw-Zeeland, Australië, Taiwan en een aantal Europese landen.¹²⁷ In de jaren negentig ontstond het idee van de wereld als *global village*. De gedachte was dat ICT en het internet zouden helpen bij het pacificeren van de wereld: wanneer we meer kennis van elkaar hebben en met elkaar delen, neemt de vijandigheid ten opzichte van elkaar af. Zo werd het internet vrijer verspreid, omdat het steeds meer werd beschouwd als middel om de wereld te democratiseren.

Met name ingenieurs hadden sterk positieve verwachtingen wat betreft de pacificerende en civiliserende werking van het internet en de vrije verspreiding van informatie. Ook het Pentagon verspreidde dergelijke utopische ideeën.¹²⁸ Abbate¹²⁹ benadrukt dat het internet ook een wereldwijde creatie was. Hoewel ontstaan in de VS uit het intranet van DARPA, droegen ook anderen bij aan de ontwikkeling en verspreiding van het internet: Tim Berners-Lee, een Britse computerwetenschapper bij het Zwitserse CERN; het Franse Cyclades-project (een experimenteel netwerkproject dat in 1972 begon met financiering van de Franse overheid, met een sterke focus op 'inter-networking');¹³⁰ en het Franse Minitel-systeem (een telefoniebedrijf dat in 1982 als eerste zowel content als

125 Lean 2016: 52.

126 Naughton 2016.

127 Dholakia et al. 2004.

128 Freeman en Louça 2001: 330-331.

129 Abbate 2000.

130 Abbate 2000: 124.

communicatie aanbod via *special-purpose terminals*).¹³¹ Daarnaast werkte DARPA samen met een grote groep internationale netwerkexperts die in 1972 samen de International Network Working Group oprichtten.

Netwerkstandaarden werden geformuleerd en geïmplementeerd via de Consultative Committee on International Telegraphy and Telephony (CCITT), een internationale organisatie die al vanaf 1865 bestond, en via de International Organization for Standardization (ISO), een andere internationale organisatie die in 1947 werd opgericht standaardisatie en normen te internationaliseren. Kshetri¹³² en Shadrach¹³³ beschrijven dat ook de rol van supranationale instituties en ngo's in de diffusie en standaardisatie van het internet over de wereld van belang was, zoals de VN, de Wereldbank, WTO en de World Intellectual Property Organization.

Software

Vanaf de jaren tachtig werd er ook meer onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van software, ook een relatief kapitaalintensieve sector.¹³⁴ De vs liep hierin voorop. In *From Airline Reservations to Sonic the Hedgehog: A History of the Software Industry* beschrijft Martin Campbell-Kelly¹³⁵ dat de vs op het gebied van software en pc's van 1980 tot 1995 onbetwist wereldleider was. Leidend daarin zijn de pc's van IBM en drie grote onafhankelijke softwareleveranciers: Computer Associates, Oracle en Microsoft. SAP, een Duits bedrijf, was het enige Europese bedrijf dat kon bijbenen. Andere Europese landen konden dat niet omdat zij nog niet hadden geïnvesteerd in IT en softwaretechnologie, en daarom de standaarden en licenties van Amerikaanse bedrijven bleven overnemen. De *first-mover advantages* waren zo groot dat deze bedrijven lang dominant bleven.¹³⁶

Wereldleiders in IT: de vs en de opkomst van Azië

De Amerikaanse dominantie in IT was historisch gezien niet vanzelfsprekend. Lange tijd had het erop geleken dat Engeland, met belangrijke computertheoretici en experimenten met computertechnologie, leidend zou worden in IT. Zo werd de eerste programmeerbare, mechanische rekenmachine – de voorloper van de computer – in de negentiende eeuw ontworpen door de Engelsman Charles Babbage. Ook Duitsland en Frankrijk investeerden aanvankelijk veel in IT, maar toch was het de vs die de onbetwistbare leider werd van IT.

131 Abbate 2000: 209-210.

132 Kshetri 2001.

133 Shadrach 2002.

134 Steinmueller 1995.

135 Campbell-Kelly 2004.

136 Campbell-Kelly 2004: 202-205, 239.

Bronnen van dit Amerikaans succes liggen in i) samenwerkingen tussen universiteiten, industrie en overheidsinstellingen waarin de federale overheid ofwel een grote klant ofwel een grote financier van belangrijke onderzoekscentra was (zoals IBM's Watson Research Center, AT&T's Bell Laboratories, Xerox' Palo Alto Research Center); ii) de industriële macht van de VS na de Tweede Wereldoorlog, waardoor Amerikaanse bedrijven snel konden bouwen aan een industrieel imperium (zoals IBM en Rand); en iii) het bestaan van een competitief ecosysteem (op basis van vrije markten en strenge antitrustregulering) dat ruimte bood voor disruptieve innovators, een hevige strijd tussen bedrijven om grote overheidscontracten en de aanwezigheid van veel durfkapitaal.¹³⁷ Zo was de transistortechnologie lang niet beschikbaar voor Amerikaanse fabrikanten, tot in 1956 een zeven jaar oude antitrustzaak tegen AT&T vereiste dat het bedrijf licenties voor de vervaardiging van haar transistors zou verstrekken aan andere Amerikaanse bedrijven.

Vanaf de jaren zeventig zette Japan ook sterk op in op het ontwikkelen van een eigen IT-industrie, door de wetenschap, industrie en overheid samen te laten werken. Tegen het eind van de jaren tachtig was Japan een wereldleider geworden in het produceren en ontwikkelen van halfgeleiders voor commerciële toepassingen. (Dit kwam ook doordat Japan geen leger mocht hebben, en er dus geen leger was als belangrijke bron voor onderzoekscontracten en afzetproducten.) Het Japanse model werd gerepliceerd door Zuid-Korea en Taiwan, die vervolgens ook succesvol werden in IT en computertechnologie.¹³⁸

Maatschappelijk debat

De groeiende invloed van computers

In 1950 publiceerde Alan Turing zijn beroemde artikel 'Computing Machinery and Intelligence' in het vakblad *Mind* en ontwikkelde hij de Turingtest voor artificiële intelligentie. Als gevolg hiervan groeide de publieke interesse in de computer. Vanaf dat moment werd steeds meer geschreven over de complexe wiskundige vaardigheden van computers, en speculeerde men hoe computers menselijke vaardigheden zouden kunnen beheersen zoals het spelen van muziek, schaken en schrijven. Een belangrijk moment daarin waren de Amerikaanse presidentsverkiezingen in 1952, toen de UNIVAC – de eerste commerciële computer – op de Amerikaanse televisie verscheen en correct de nieuwe president van de VS voorspelde, tegen alle verwachtingen van de polls in.

137

National Research Council 1999: 28-29.

138

Hernandez 2004.

Met zijn boek *Automation: The Advent of the Automatic Factory* wakkerde futurist John Diebold¹³⁹ het geloof in de revolutionaire kwaliteiten van computers en IT voor het dagelijks leven en de economie aan. Hij waarschuwde ook voor het gevaar van massale werkloosheid. Dit werd in de jaren vijftig een levendige discussie,¹⁴⁰ die werd verhevigd door de inzet van IT vanaf de jaren zestig in de ‘managementwetenschap’. De wortels daarvan gaan terug op Babbage en Frederic Taylor: zij claimden wiskundige modellen te hebben voor bedrijfsoperaties, en dus een rationele basis voor besluitvorming, maar misten de benodigde rekenkracht voor controle en analyse van gedrag.¹⁴¹ IT zou deze belofte inlossen, en computers en databases werden in toenemende mate ingezet om allerlei bedrijven ‘efficiënter’ te maken.¹⁴²

Toch bleven de pc’s nog lang afwezig in het dagelijks leven van de consument. Een echte consumentenmarkt ontstond pas in 1981, toen IBM zijn pc lanceerde met tal van nieuwe applicaties vanuit Microsoft DOS (zoals games, spreadsheets en software voor de boekhouding), gevolgd door de introductie van de Macintosh door Apple in 1984. Tot die tijd waren de mainframe computers voor consumenten te groot, te kostbaar en te lastig om te besturen. Desalniettemin maakte IT in de jaren zestig gestage progressie die het algemene publiek wel bereikte: in 1959 werd de potentie van ‘computerleren’ duidelijk toen de eerste computer zichzelf leerde dammen, twee jaar later berekende een computer de waarde van pi tot 100.000 decimalen, in 1967 werd een computerprogramma benoemd tot erelid van de Schaakfederatie van de Verenigde Staten en in 1982 werd de pc uitgeroepen tot man (of eigenlijk: machine) van het jaar bij het tijdschrift TIME. Dit soort gebeurtenissen veroorzaakten bij het publiek een *awe of the machines*, maar ook de eerste gevoelens van menselijke inferioriteit ten opzichte van de computer.¹⁴³

De groeiende invloed van de computer kwam in het VK voor het eerst onder de publieke aandacht door de BBC Horizon-documentaire *Now the Chips Are Down* (1978), waarin een toekomst werd geschetst met goedkope computers en IT. Er zat een sterk ‘Darwinistische’ ondertoon in: computerchips waren in allerlei taken veel beter en sneller dan mensen, en wie hier niet in meeging zou technologisch achterblijven op degenen die dit wel deden. Er werd gewaarschuwd dat

139 Diebold 1952.

140 Een radiopoll in Detroit in de jaren vijftig stelde dat ‘automatisering’ de derde plaats innam van *most frightful things*, achter de Russen en atoombom (Van den Ende en Kemp 1999).

141 Mahoney 1988.

142 Computerbedrijven adverteerden in de jaren vijftig, zestig en zeventig niet met afbeeldingen van computers, maar met het proces van *computerization*, dat werd geassocieerd met *efficiëntie*, *snelheid* en *ordelijkheid* (Lean 2016: 41).

143 Lean 2016: 26-27.

kinderen werkloos zouden raken als zij geen IT-vaardigheden zouden ontwikkelen, en dat er een ‘technische elite’ zou ontstaan die de samenleving met computertechnologie naar zijn hand kon zetten.

De rol van populaire cultuur

Populaire cultuur zwengelde de angst voor computers bij het brede publiek aan.¹⁴⁴ Zo werd in 1966 een computer als vijand gepresenteerd in het seizoen ‘The War Machines’ van het Britse sci-fi programma *Doctor Who*. De computer WOTAN is in de serie de Britse tegenhanger van de computers van IBM en andere Amerikaanse bedrijven. Tijdens zijn ontwikkelingsproces ontwikkelt hij bewustzijn, waarna hij chaos creëert in Londen. Ook de HAL 9000 in de film *2001: A Space Odyssey* uit 1968 is een vijandelijke computer, die de bemanning van een ruimteschip vermoordt.¹⁴⁵

Tegelijkertijd werd computertechnologie steeds meer ingezet in het militair-industriële complex van de Koude Oorlog (bijvoorbeeld om raketten te controleren, gevechten te simuleren en defensiesystemen te besturen), wat discussies voedde dat computers in feite oorlogsmachines waren. Dit werd ook onderwerp van populaire media, bijvoorbeeld in de film *Colossus: the Forbin Project* uit 1970 of de roman *I have no mouth and I must scream* van Harlan Ellison in 1967. Ook de onbekwaamheid van de computer werd verbeeld, bijvoorbeeld in de film *Desk Set*, waarin een computer besluit dat het niet ‘logisch’ is voor twee geliefden om te trouwen.¹⁴⁶

Angstbeelden van de computersamenleving

Zoals gezegd werd de computer vanaf de jaren zestig ook vaker door organisaties ingezet voor administratieve taken. Zo ontstond naast de angst voor de destructieve kracht van computers ook de angst dat de computer de vrijheden van burgers zou inperken vanwege zijn alwetendheid en de macht van grote organisaties om data te verzamelen, te manipuleren en te gebruiken.

In 1970 ontwikkelde Edgar Codd bij IBM de eerste software- en management-systemen voor ‘relationele databases’. Deze technieken gaven overheden en bedrijven nieuwe mogelijkheden om burgers of consumenten te volgen en hun gedrag te analyseren en voorspellen. Zo beschrijft Westin¹⁴⁷ in zijn boek

144 “To science fiction writers the computer became a Frankenstein’s monster for the electronic age; an inhuman machine, just a logic error away from turning on the inferior beings who created it. The computer ‘taking over’ became a common science fiction trope, in stories that often borrowed from real computing developments as much as they invented them” (Lean 2016: 36).

145 Lean 2016: 35.

146 Lean 2016: 36-37.

147 Westin 1972.

Databanks in a Free Society: Computers, Record Keeping and Privacy hoe de vs in toenemende een *records-oriented society* wordt, waarin formele computerdocumenten alles bijhouden van ons persoonlijk en maatschappelijk leven. Het was de eerste landelijke studie in de vs naar het gebruik van computerdata en het proces van digitale dataopslag en verwerking in de vs, en wat de groei van deze grootschalige databases betekent voor de constitutionele rechten van burgers (bijvoorbeeld op het gebied van privacy).¹⁴⁸ Ook het onderzoek *Records Computers and the Rights of Citizens* van de Secretary's Advisory Committee on Automated Personal Data Systems¹⁴⁹ waarschuwt voor een nieuwe groep van getrainde en gespecialiseerde data-analisten en -managers die computers en data kunnen manipuleren, wat implicaties heeft voor burgerrechten.

Vanaf de jaren tachtig groeide ook het bewustzijn van de invloed van nieuwe 'computer- en dataorganisaties' die zich buiten het zicht van de burger ontwikkelden, en grip kregen op de samenleving en economie doordat zij de informatiestromen reguleerden en faciliteerden. In zijn boek *The Rise of the Computer State* beschrijft Burnham¹⁵⁰ de groeiende macht van overheden en publieke organisaties als gevolg van dataverzameling over burgers (zoals de CIA, FBI, National Crime Information Center, Office of Technology Assessment, Internal Revenue Service en de NSA) en private partijen (zoals AT&T en kredietbedrijven). Burnham verwijst vaak naar Orwell's *1984*, en stelt dat Orwell niet voorzag dat de computer ook onderdeel werd van *Big Brother*. Wicklein¹⁵¹ benadrukt hoe de kwaliteiten van computerdata allerlei nieuwe 'surveillancetechnieken' mogelijk maken, en onderzoekt hoe computerdata het strafrechtproces beïnvloeden en corrumperen (denk aan het recht op privacy en op *non-discoverability*).

-
- 148 De auteur bezocht voor het boek in 1970 en 1971 55 organisaties, en onderscheidde 14 domeinen waarin organisaties data bijhouden over personen en het sociale leven (zoals kredietbureaus, gemeentes en religieuze organisaties). "Our task is to see that appropriate safeguards for the individual's rights to privacy, confidentiality, and due process are embedded in every major record system in the nation, particularly the computerizing systems that promise to be the setting for most important organizational uses of information affecting individuals in the coming decades" (Westin 1972: 405).
- 149 Secretary's Advisory Committee on Automated Personal Data Systems 1973.
- 150 Burnham 1983.
- 151 Wicklein 1981.

De golf van deregulering en privatisering, met name in de vs, leidde ook tot angst over ‘elektronische kartels’ van deze bedrijven.¹⁵² Zo vreesde men voor een *databank society* en werden computers geassocieerd met *Big Brother surveillance* (Orwell schreef zijn roman *1984* op het moment dat de Manchester Baby werd ontwikkeld, de eerste computer met een in het geheugen opgeslagen programma).

We zien dus dat vanaf de jaren zestig de eerste zorgen van beleidsmakers en het bredere publiek ontstonden over de invloed en macht van de computer en IT. In de jaren zeventig kwamen ook de eerste vormen van computermisdaad op. Ook computervirussen deden hun intrede: in 1971 schreef Robert Thomas het Creeper Virus, dat gebruikmaakte van ARPANET om zichzelf te verspreiden. Donn Parker, een computerwetenschapper van het onderzoeksinstituut SRI, waarschuwde in 1979 voor een nieuwe klasse van zware misdaad door criminelen die gebruikmaakten van hun computerexpertise. Hij was vooral bezorgd over het feit dat veel mensen zich niet langer bewust waren van de ethische implicaties van hun handelen wanneer zij iets met de computer deden. Daarom ontwierp Parker de *Code of Professional Conduct for the Association for Computing Machinery*.¹⁵³ De term ‘computerethiek’ werd gemunt door Walter Maner, die in de jaren zeventig opmerkte dat in veel eigentijdse ethische dilemma’s de computer een belangrijke rol speelde en IT vaker tot negatieve uitkomsten leidden. Een bredere discussie over de aard van computerethiek (het *uniqueness debate*) ontstond in de jaren tachtig.¹⁵⁴

152 Bressand 1990.

153 Floridi 2010: 31. Parker ontwikkelde deze ethische code in reactie op de eerste misdaad met behulp van een computer in 1973: een programmeur kon het ongedaan maken dat zijn bankrekening op rood stond, maar omdat er geen wetgeving bestond om hem te stoppen werd hij niet veroordeeld. Halverwege de jaren zeventig kwamen er nieuwe privacywetten en computermisdaadwetten in de vs en Europa, en organisaties ontwikkelden nieuwe ethische codes.

154 Bynum en Rogerson 1996.

4 Analyse van de historische cases

In het vorige hoofdstuk hebben we vier *general purpose technologies* uit het verleden besproken. In dit hoofdstuk analyseren we deze historische cases aan de hand van twee vragen: In hoeverre gaf initieel technologisch leiderschap daadwerkelijk economische en strategische voordelen op langere termijn? En welke invloed had het maatschappelijk debat rond deze technologieën op hun maatschappelijke inbedding?

4.1 Het strategisch belang van technologie en first-mover-voordelen

Bij geen van de historische technologieën gaf de positie als *first mover* – die de technologie dus als eerst had ontwikkeld – een doorslaggevend voordeel in termen van adoptie (dat wil zeggen: economische groei) of direct strategisch voordeel (bijvoorbeeld militaire kracht). Dergelijke voordelen hingen veeleer samen met een snelle en succesvolle toepassing, op haar beurt weer bepaald door contextuele factoren zoals de beschikbaarheid van grondstoffen, de mate van welvaart, en macro-economische en institutionele kaders.

Technologisch leiderschap is relatief

Aileen voor de stoommachine kunnen we stellen dat deze in eerste instantie primair in een enkel land, het Verenigd Koninkrijk, is ontwikkeld. Dit was het gevolg van de economische en technologische voorsprong die het VK al had op de rest van Europa, en van zijn vroeg-wetenschappelijke benadering van uitvinden en verder ontwikkelen van de technologie. Bovendien kende het land hoge lonen en bestond er behoefte aan verdere mechanisering van zijn mijnen en industrie. De ontwikkeling van de stoommachine vond plaats voordat wetenschappers meer georganiseerd kennis deelden met internationale collega's, en uitvinders zoals James Watt en zijn tijdgenoten werkten dus in relatieve isolatie aan hun machines.

In een later stadium kwam deze kennis toch beschikbaar voor andere landen, onder meer doordat Engelse producenten van stoommachines hun machines ook internationaal verkochten. Ingenieurs in de VS slaagden er zelfs in, na een aanvankelijke achterstand, een betere stoommachine te ontwikkelen die ook veelvuldig in Engeland toegepast zou worden. De overige GPT's zijn stuk voor stuk veel meer het resultaat van internationale ontwikkelingspaden, waarbij ingenieurs actief samenwerkten en wetenschappers voortbouwden op elkaars werk. Daardoor vonden soms ook vrijwel simultane ontwikkelingen plaats in verschillende landen (zoals de ontwikkeling van de gloeilamp in zowel de VS als Engeland, de verbrandingsmotor in de VS, Frankrijk en Duitsland, en de ontwikkeling van mainframe computers in Duitsland, het VK en de VS).

Het internationalisme dat heerst(e) onder ingenieurs en wetenschappers leidde tot veel kennisdeling. Zo werden vele internationale commissies opgericht, in de negentiende eeuw bijvoorbeeld voor telecommunicatie, elektriciteit en spoorwegen. Deze droegen, onder meer, bij aan de ontwikkeling van internationale technologische standaarden, waardoor internationale adoptie van de technologie spoediger verliep. In het algemeen waren overheden en diplomaten daarentegen meer bezorgd over de strategische waarde van technologische kennis. Zij probeerden dan ook paal en perk aan te stellen aan deze internationalisering vanuit de academie en ingenieursgemeenschap. Dit bereikte een hoogtepunt in de jaren dertig van de twintigste eeuw toen, te midden van de crisis, veel landen een sterk protectionistisch beleid voerden en, onder meer, kozen voor nationalisatie van grondstoffen en technologische infrastructuur en sterke bescherming van strategische kennis (zoals de nationalisering van radiotechnologie).

Verder willen we benadrukken dat geen van deze technologieën het resultaat was van een enkele 'uitvinding'; we moeten ze begrijpen als een *development block*¹⁵⁵ van meerdere technologieën die tezamen een functioneel *large technical system*¹⁵⁶ vormen. Dit is het duidelijkst zichtbaar bij elektriciteit, waarin verschillende (*enabling*) componenten – zoals de stoommachine, dynamo, distributietechnologie en toepassingen – tezamen tot toegevoegde waarde leidden. Ook in het geval van IT en het internet zien we dat veel complementaire innovaties (zoals interfaces, gebruiksvriendelijke software, miniaturisatie en games) nodig waren om het digitale computerregime te ontwikkelen. Het heterogene karakter van deze *development blocks* en de nadruk op niet-technische aspecten van grote technische systemen betekenen dat het moeilijk is voor een enkel land om een absolute voorsprong te behouden. Gegeven het feit dat continue internationale kennisdeling en complementaire innovaties vereist zijn, is leiderschap in de ontwikkeling van een GPT niet te reduceren tot een van deze factoren.

Kennisvoorsprong is niet doorslaggevend in de toepassing van technologie

Voor zover er al sprake is van een technologische voorsprong voor een enkel land leidt dit niet noodzakelijk tot leiderschap in termen van toepassing van de technologie. Met andere woorden, het succes en de snelheid waarmee een technologie wordt toegepast en ingebed in verschillende landen, wordt bepaald door andere factoren. Denk aan de bredere context waarbinnen de technologie toegepast wordt, ondersteunend beleid, het geopolitieke klimaat en de relatie tot andere landen, maar ook de algemene behoefte en angstbeelden die leven

onder de bevolking. Zelfs voor de stoommachine gold dat de Engelse kennisvoorsprong als zodanig niet noodzakelijk de voornaamste reden was voor de snelle adoptie. Dit was vooral het gevolg van hoge lonen en goedkope steenkool in Engeland, die de concurrentiepositie van stoommachines ten opzichte van bestaande krachtbronnen ten goede kwam. Eenzelfde combinatie van hoge lonen en goedkope steenkool was verder alleen terug te vinden in een beperkt aantal regio's in de vs.

Vergelijkbaar hiermee is het gegeven dat de adoptie van de auto het snelst verliep in de Verenigde Staten, als gevolg van de relatief hoge welvaart en de beschikbaarheid van krediet voor consumenten. Daardoor konden velen zich een auto veroorloven. Daarnaast was de Amerikaanse industrie al meer gericht op (geëlektrificeerde) massaproductie en slaagde ze erin, onder aanvoering van Henry Ford, de productiekosten van auto's snel te reduceren.

Zowel elektriciteit als IT kunnen we, nog meer dan de stoommachine en de automobiel, zien als *large technical systems*. Dat betekent dat allerlei complementaire technische en niet-technische innovaties een rol speelden in de verdere ontwikkeling van het systeem (bijvoorbeeld interfaces, nieuwe bedrijfsmodellen, en de ontwikkeling van toepassingen die echt waarde toevoegen, zoals elektrotechnische apparaten of spreadsheets). Zo zien we dat de eerste toepassingen van elektriciteit ontstonden in het VK, maar kort daarna de vs leidend werd in de aanleg van elektriciteitsnetwerken en de aansluiting van fabrieken, winkels en de eerste huishoudens, terwijl Duitsland leider werd in de industriële toepassing van elektriciteit. Beide landen konden dit doen dankzij complementaire innovaties (zoals de eerdergenoemde dynamo's en wisselstroommotoren), maar ook door politieke en beleidsmatige factoren. De politieke situatie van Chicago en Berlijn illustreert bijvoorbeeld hoe vijandig het politieke klimaat in het VK was ten opzichte van elektriciteit, ten gunste van kolen en het oude paradigma van de stoommachine.

Vanwege het private karakter van de energiesector in de vs werden commercieel interessante afnemers snel aangesloten (of bouwden een eigen elektriciteitsvoorziening), terwijl dit in Duitsland en de rest van Europa veel meer werd beschouwd als staatsaangelegenheid. De ontwikkeling van elektriciteitsnetwerken verliep hier dus ook langzamer dan in de vs, maar met een bredere diffusie. In de vs bleef de aanleg van netwerken grotendeels beperkt tot stedelijke gebieden en bleef het (commercieel minder interessante) platteland achter. Een aantal Europese landen kwam hierdoor eerder tot volledige elektrificatie.

In het geval van IT zien we dat de Amerikaanse overheid via regulering en contracten een competitieve IT-markt ontwikkelde, met een sterke drijfveer voor bedrijven om te blijven innoveren, zowel voor de publieke als voor de

private markt. Vanaf de jaren zeventig zien we dan ook een groei aan IT- en ICT-innovaties vanuit de VS, maar ook in andere landen die een eigen IT-sector ontwikkelden (zoals Japan, en later Taiwan en Zuid-Korea).

Het delen van technologie is onderdeel van strategisch beleid

Elk van de besproken GPT's had een belangrijke strategische dimensie – ofwel militair, ofwel economisch – en met name politici van verschillende landen hebben geprobeerd om gedeelten van hun kennis en kunde af te schermen van anderen. Franse handelsexpedities die naar Engeland kwamen om te leren over de industriële revolutie en de rol van de stoommachine daarin stonden vaak voor een gesloten deur. En daar waar kennis over elektrotechniek in het algemeen breed gedeeld werd door wetenschappers, waren landen en grote elektrobebedrijven als Westinghouse en Edison in de VS en Siemens, AEG en Halske in Duitsland veel minder open.

Vooraf tijdens het interbellum werd elektrotechniek, net als veel andere technologieën, veel explicieter strategisch benaderd en ontstond er een race tussen landen om nieuwe toepassingen als eerste te ontwikkelen en toe te passen. Voor een deel ging het om technologie die rechtstreeks van militair belang was, zoals radiotechnologie, maar het gold ook voor technologie waarmee de economie op oorlogssterkte gebracht kon worden, zoals vormen van massaproductie. Dit komt ook duidelijk naar voren in de ontwikkeling van het IT-ecosysteem in de VS. Dat was sterk verbonden met militaire belangen, de Koude Oorlog, federale overheidsfinanciering en de reeds genoemde strategische blik op de export van IT en netwerktechnologie. Ook de eerste mainframe computers dienden militaire doeleinden.

Buiten deze tijden van oplopende internationale spanning werd technologie ook juist bewust gedeeld met andere landen. Dit gebeurde vanuit de wens om internationaal zaken te doen, maar vaak had kennisdeling ook tot doel om tot internationale standaardisatie te komen, om daarmee de totale waarde van de technologie te verhogen (denk aan internationaal treinverkeer en internationale communicatie). Ook, en misschien wel vooral, werd technologie ingezet ter bevordering van internationale relaties en regionale integratie. Zo werd er al in de jaren twintig nagedacht over de aanleg van een Europees netwerk van snelwegen – ter bevordering van economische activiteit, maar ook zeer nadrukkelijk als ideologische vector voor diepere Europese samenwerking.

Hetzelfde gold voor het Europese hoogspanningsnetwerk, dat werd opgezet als politiek project en dat moest bijdragen aan Europese samenwerking en pacificatie. Net als bij de aanleg van de Europese snelwegen speelde de VS een grote rol in dit hoogspanningsnetwerk, dat na de Tweede Wereldoorlog via het Marshallplan werd ondersteund. Dit deed de VS deels uit politieke

(anticommunistische) overwegingen en deels om een markt te creëren voor Amerikaanse netwerkbouwers en electronicabedrijven. Systematische elektrificatie werd in deze plannen ook vereenzelvigd met vooruitgang en toenemende welvaart en modernisering, en diende zo ook als vector voor Amerikaanse waarden en politieke ideeën. Het Europese netwerk vanaf de jaren zeventig en tachtig uitgebreid naar Oost-Europa. Ook hierbij was sprake van een mix van politieke overwegingen (het slechten van het IJzeren Gordijn) en economische belangen (toegang tot Oost-Europese energiebronnen en het creëren van een markt voor westerse elektronica).

Ook tijdens de Koude Oorlog keek de Amerikaanse overheid vanuit een strategisch perspectief naar de export van IT. Bevriende landen kregen toegang tot computer- en netwerktechnologie, terwijl de export van IT naar communistische landen werd beperkt. Na de val van de Berlijnse Muur werd IT vrijer verspreid, vanuit het idee dat dit autoritaire regimes zou ondermijnen en democratie en vrijheid wereldwijd zou bevorderen. In deze strijd tussen de meer ideologisch-liberale inslag van de groep ingenieurs en wetenschappers enerzijds en politici anderzijds kozen private ondernemingen de kant van de eerste, vanuit hun belangen om de technologie te exporteren. Vaak werden toepassingen van GPT's onder patenten en licenties verkocht aan andere landen en partijen. Dat gebeurde bijvoorbeeld met het elektriciteitssysteem van Edisons General Electric en zijn gloeilamp, en met de software van Amerikaanse IT-bedrijven zoals Microsoft en Oracle.

4.2 Maatschappelijke inbedding

Elk van de besproken technologieën is ontvangen met een mengeling van bewondering en afgrijzen. Enerzijds waren er utopische beloften van vrijheid, welvaart en modernisering, anderzijds angstbeelden dat de technologie de huidige maatschappij en manier van leven diepgrondig zou ontwrichten en dat nieuwe partijen een ongebreidelde macht krijgen. Deze dialectiek leidde steeds tot een maatschappelijk debat over de rol die technologie zou moeten spelen in de samenleving en hoe deze gereguleerd kon en moest worden.

Technologische beloften

De voornaamste belofte was steeds de maatschappelijke en economische vooruitgang. Terwijl lang niet elke burger het revolutionaire aspect van de GPT's direct herkende, werden ze wel als zodanig gepresenteerd door ontwikkelaars en andere promotoren. Veelal werden technologische ontwikkelingen gekoppeld aan beelden als vooruitgang en moderniteit – iets waar je niet tegen kon zijn. AI meer concreet werd ook het beeld van bevrijding en democratisering veelvuldig aangehaald: bevrijding van de huisvrouw (huishoudelijke apparatuur), bevrijding van de jeugd (auto), bevrijding van menselijke cognitieve beperkingen (computer) en ondermijning van autocratische overheden (internet).

Hiermee werd de technologie geacht bij te dragen aan het opheffen van maatschappelijke klassenverschillen en de emancipatie van specifieke groepen (zoals vrouwen en jongeren).

Angstbeelden

Naast de belofte van democratisering en bevrijding bestond ook de angst dat de technologie juist bestaande kloven en ongelijkheid in de maatschappij zou verdiepen en verbreden. Zo kwam de stoommachine op in een tijd waarin al langer grote onrust bestond over de snelle industrialisatie en de marginalisering van de arbeidersklasse daarin. Met name de Luddieten kwamen juist hiertegen in opstand; de stoommachine stond voor hen symbool voor deze bredere ontwikkeling en de angst en weerstand die ermee gepaard ging. Dit gold niet alleen voor de Engelse bevolking zelf. Vanuit Frankrijk, en ook vanuit Amerika, werd het VK weliswaar benijd om haar technologische en economische voorsprong, maar tegelijkertijd werd ook met afschuw gekeken naar de manier waarop de technologie werd ingezet.

Op kleinere schaal, maar langs dezelfde lijn, bestond er ook wantrouwen ten opzichte van elektriciteit. Elektrische straatverlichting werd door sommigen ervaren als een middel voor de (politie)staat om zijn burgers nog beter in de gaten te kunnen houden. Hetzelfde gold voor elektrisch licht en klokken in fabrieken die werkgevers hielpen om werknemers te controleren en waar nodig bij te sturen om hun productiviteit te verhogen. Ook de digitale computer en IT zouden bedrijven en publieke organisaties een ongekende macht geven over consumenten en burgers. Daarmee zouden minderheden ook benadeeld kunnen worden in de rechtspraak. Ook in het geval van de auto speelden klassenverschillen in de beginjaren van de technologie een grote rol. Het was de welvarende en witte elite die zich een auto kon veroorloven en andere, minder welvarende burgers van de openbare weg verjoeg.

Directe en indirecte problemen

We zien dus dat de introductie van een technologie tot dusver altijd gepaard ging met beloften en angstbeelden. Maar ook dat de technologische ontwikkeling ervan wel altijd werd gezien als onomkeerbare kracht: ondanks de problemen en reserves was het niet mogelijk om technologische innovatie tegen te houden, en overheersten de positieve ten opzichte van de negatieve consequenties. Pas zodra de technologie langer in gebruik was leerden maatschappijen ook de meer concrete problemen van de technologie kennen. Veel van die problemen bleken overkomelijk, dankzij beleid en adaptie van burgers en consumenten. Daarmee kunnen we een onderscheid maken tussen directe en indirecte problemen van de diffusie en adoptie van de GPT door de samenleving en economie.

Zo droeg de stoommachine in grote mate bij aan de verstedelijking als gevolg van industrialisatie, wat resulteerde in onleefbare steden waarin arbeiders onder ongezonde omstandigheden leefden. Bovendien leidde het gebruik van stoommachines (en andere toepassingen van steenkolen) tot zeer schadelijke luchtverontreiniging die pas afnam nadat meer efficiënte stoommachines met naverbranders in gebruik werden genomen en ondernemingen verplicht werden hogere schoorstenen te gebruiken. In dit opzicht was elektriciteit waarschijnlijk de minst problematische technologie. Gedurende een relatief korte periode speelde het probleem van *death by wire* als gevolg van onveilig geïnstalleerde kabels, maar dit was relatief eenvoudig op te lossen, wat onder druk van ingenieurs en politici ook gebeurde. Pas op de langere termijn ontstonden er nieuwe, afgeleide problemen. Het gebruik van allerlei elektrische apparatuur resulteerde bijvoorbeeld in een explosie van het energieverbruik, en daarmee in nieuwe milieuproblematiek.

Snel nadat de eerste auto's op de weg verschenen ontstonden er problemen met betrekking tot verkeersveiligheid en rees de vraag van wie de openbare weg precies was. Het antwoord vanuit de overheid kwam in de vorm van verkeersregels om de grootste problemen de kop in te drukken. Deze konden echter niet voorkomen dat, bijvoorbeeld in de VS, op termijn tienduizenden verkeersslachtoffers vielen. Hetzelfde beeld zagen we decennia later bij de emissienormen die de ergste luchtvervuiling van auto's moesten tegengaan. Deze hebben deels effect gehad (bijvoorbeeld als het gaat om loodvergiftiging en zure regen), maar de groeiende populariteit van de auto heeft alsnog tot een groot milieu- en klimaatprobleem geleid. Terugkijkend moeten we wellicht concluderen dat de incrementele maatregelen (zoals stoplichten, rijbewijzen en maximumsnelheden) weliswaar noodzakelijk waren, maar bij lange na niet afdoende om de grootste en meest 'schadelijke' impact van de auto in te perken. De maatregelen hebben niet kunnen voorkomen dat, met name in de VS, de auto te zeer bevoordeeld werd ten opzichte van andere vervoersmodaliteiten en dat maatschappijen nog steeds worstelen met de vraag hoe autoverkeer beter gereguleerd kan worden en de auto kan worden teruggedrongen uit de openbare ruimte.

Wat betreft IT, en later het internet, was (en is) de grootste zorg welke impact deze technologie zou hebben op de werkgelegenheid. Gevreesd werd dat werknemers zonder computervaardigheden en -kennis niet zouden kunnen meekomen in deze 'databanksamenleving' en dat dit zou leiden tot massale werkeloosheid. Daarnaast heerste de angst dat de computer controle over de mens zou krijgen (als een digitale *Big Brother*). Ondanks deze grote, en fundamentele, zorgen heeft het debat rond IT tot op heden veel minder dan bij de eerdere GPT's geleid tot specifieke wet- en regelgeving. Vaal concludeerden beleidsmakers dat deze nieuwe technologie viel onder het bestaande regime van wetgeving voor bijvoorbeeld communicatietechnologie of privacybescherming.

Ter illustratie, de bescherming van ‘netneutraliteit’ in de VS is gebaseerd op regelgeving die stamt uit het tijdperk van de telegraaf en vroege telefonie (de Communications Act uit 1934).

Rol van overheden en andere actoren

Tegenwoordig, in het Westen, verwachten we van overheden dat ze een regulerende (maar ook stimulerende) rol spelen in de ontwikkeling en maatschappelijke inbedding van emergente technologie. Dit was aan het begin van de negentiende eeuw echter verre van vanzelfsprekend. De macht van overheden stond vooral in dienst van een politieke (en economische) elite, en de gevolgen van nieuwe technologie op de leefomstandigheden van arbeiders werden niet of nauwelijks gezien als een verantwoordelijkheid van de staat. In het Engeland van de stoommachine gold bovendien dat de oude adellijke macht een deel van haar macht al verloren had aan de nieuwe industriële elite. Voor zover er al maatregelen getroffen werden, omdat het bewijs van de schadelijke gevolgen (zoals luchtverontreiniging) niet meer te negeren was, waren het lokale overheden die dit deden.¹⁵⁷

Vanaf de tweede helft van de negentiende eeuw gingen overheden zich meer bemoeien met de ontwikkeling van technologie, en ook met de regulering. Dit betekende enerzijds dat ze, op basis van de verwachte strategische waarde, mede investeerden in infrastructuur en nieuwe (militaire) toepassingen van de GPT's. Anderzijds betekende het dat overheden zich meer verantwoordelijk toonden voor negatieve maatschappelijke gevolgen.

Op basis van de vier cases kunnen we stellen dat de introductie van een nieuwe GPT een bedreiging vormt voor maatschappelijke gelijkheid en democratisering van de nieuwe technologie. Omdat zij in die beginfase nog wordt gezien als ‘luxegoed’ bestaat er weinig draagvlak om de technologie te subsidiëren en waar mogelijk bedrijven te verplichten het goed of de dienst aan te bieden omdat burgers daar ‘recht’ op hebben. Pas als de GPT zich zo sterk verspreidt door de economie en samenleving dat complementaire innovaties een consumentenmarkt creëren en incrementele verbeteringen leiden tot hoger gebruiksgemak en dalende kosten – met andere woorden: als de technologie een ‘noodzakelijk goed’ wordt – groeit de rol van de overheid en regulering. Door overheden afgedwongen democratisering, zoals de verplichte treinen voor de arbeidersklasse en de Rural Electrification Act, lost niet alle problemen op, maar maakt wel dat groot deel van bevolking ten minste toegang krijgt

tot de technologie. In het geval van de elektriciteitsvoorziening waren wetenschappers en elektrotechnisch ingenieurs grote voorvechters van de democratisering. Zij pleitten ook voor publieke nutsbedrijven.

Die mate waarin democratisering wordt afgedwongen heeft echter ook te maken met de sociaal-maatschappelijke tijdgeest. Zo maakten de computer en het internet pas hun opmars naar de consumentenmarkt ten tijde van sterke deregulering in de jaren tachtig en negentig, en konden bedrijven toen ook vrijelijk hun producten en diensten verkopen. Zijn de consumenten niet economisch rendabel, bijvoorbeeld rurale internetconsumenten in de vs, dan is er niet of nauwelijks beleid om de technologie breed toegankelijk te maken. Tegelijkertijd zijn IT en internet wel ingezet als *technologies of freedom* na het vallen de Berlijnse muur. Dit sloot zowel aan bij het utopische geloof in de kracht van IT en het internet als bij de geopolitieke *grand strategy* van de vs van die tijd.

Andere stakeholders spelen ook een belangrijke rol in de verdere ontwikkeling van het bredere sociopolitieke systeem van de technologie. Dit geldt voor zowel lokale bestuurders, financiers en belangengroepen als voor academici, kunstenaars en journalisten. Met name de laatste twee spelen een belangrijke rol in het maatschappelijk debat zoals dat wordt gevoerd in populaire media. Vooral bij IT waren er veel vroege films, artikelen, documentaires en boeken die de angst voor de computer onder de bevolking voedden. Daarnaast spelen in de verdere systeemontwikkeling van grote technische systemen technologieontwikkelaars, financiers en lobbyorganisaties (zoals de ANWB of de Amerikaanse AAA in het geval van de automobiel) een belangrijke rol, bijvoorbeeld door te vragen om publiek gefinancierde steun voor de aanleg van infrastructuur. Tegelijkertijd vragen onder meer artsen en wetenschappers (en gewone burgers) om overheidsingrijpen om burgers te beschermen, bijvoorbeeld tegen de schadelijke gevolgen van luchtverontreiniging door stoommachines en de gevaren van de automobiel.

5 Implicaties voor artificiële intelligentie

In de voorgaande historische analyse hebben we aantal conclusies getrokken op basis van de ontwikkeling en inbedding van historische *general purpose technologies*. In dit hoofdstuk stellen we de vraag in hoeverre deze conclusies ook van toepassing kunnen en zullen zijn op artificiële intelligentie. Daar gaat de vraag aan vooraf of AI als technologie te vergelijken is met de eerdere GPT's. In hoofdstuk 2 hebben we deze vraag bevestigend beantwoord. De vier besproken oude technologieën bestonden uit een duidelijk aan te wijzen kerntechnologie die samen met verscheidene complementaire innovaties een groot technisch systeem (zoals de computerchip voor het digitale computerregime) of techno-economisch paradigma vormde. Voor AI geldt dat zij ook een dergelijk technisch systeem en techno-economisch paradigma vormt, zij het dat de gebruikte algoritmes een minder vastomlijnde en niet-fysieke kerntechnologie vormen.

We kunnen AI dan ook het beste begrijpen als onderdeel van een gelaagd model van digitale technologie waarin de verschillende lagen een wederzijdse afhankelijkheid hebben. We verwijzen hier naar het zogenaamde *stack*-model (zie hoofdstuk 2). Daarin is de intelligentie van het AI-systeem afhankelijk van andere lagen van technologie, zoals het volume en de kwaliteit van de data van gebruikers, en de 'protocollen' die voorschrijven hoe deze data worden verzameld, opgeslagen en gedeeld. Maar ook de (gespecialiseerde) computerchips zoals Google's Tensor Processing Unit, alle sensoren die de wereld observeren en meten, actuatoren die de intelligentie omzetten in handelingen van automatische systemen, tot aan de interfaces zoals touchscreens of VR-brillen die de geproduceerde kennis ontsluiten behoren tot deze *stack*. Binnen dit proces van 'slimme' of 'autonome computatie' zijn de algoritmes afhankelijk van deze lagen van digitale technologie.

Als we de historische GPT's willen vergelijken met AI zullen we rekenschap moeten geven van deze gelaagdheid. In het vervolg van dit hoofdstuk gebruiken we dit perspectief dan ook om de lessen uit het verleden te vertalen naar de ontwikkeling en inbedding van AI.

Technologisch leiderschap in AI is niet voorbehouden aan een enkel land

De ontwikkeling van AI wordt vaak gezien als een race tussen de VS en China, waarbij andere landen een niet te overbruggen achterstand hebben opgelopen (of: waarbij China en de VS door de netwerkeffecten van AI een steeds grotere voorsprong opbouwen). Toch zien we dat technologisch leiderschap bij eerdere GPT's, met uitzondering van de stoommachine, nooit voorbehouden was aan een enkel land. Het is daarom ook zeer de vraag of we een evident en eenduidig leiderschap zullen zien in de ontwikkeling van AI.

Veel van de AI-technologie is en wordt nog steeds ontwikkeld in het publieke domein en gepubliceerd in internationale tijdschriften. Dit gebeurt – al dan niet onder condities van open source – zowel door academici als door (grote) technologiebedrijven (denk aan Google's TensorFlow, een gratis en open source softwarebibliotheek). Internationale samenwerking en kennisdeling is ook meer dan ooit noodzakelijk, gezien de complexiteit en gelaagdheid van de technologie (dat wil zeggen: de combinaties van hardware, software en trainingsdata). Dat maakt de kans klein dat een enkel land op lagen van de AI-*stack* een dominante positie kan verkrijgen.

Dit heeft ook te maken met de aard van AI als technologie. AI bestaat namelijk zelf weer uit een brede waaier aan benaderingen, stromingen en scholen, zoals symbolische AI, Bayesiaanse netwerken, *deep learning* en neurale netwerken, en zelfs pogingen tot volledige breinsimulaties. Dat betekent dat leiderschap in een bepaalde school of benadering niet een absolute leiderschapspositie impliceert. Sterker nog, er bestaat ook niet zoiets als een superieure wijze of benadering van AI voor alle verschillende vraagstukken en problemen, gegeven de specifieke condities en randvoorwaarden waarbinnen AI wordt toegepast. Zo vraagt het ontdekken wat er op een foto staat een heel andere benadering en toepassing van AI dan het uitrekenen wat de goedkoopste distributielijn is, en weer een andere dan het beredeneren wat een ethisch juiste beslissing is.¹⁵⁸

Dat betekent dat verschillende landen hooguit een relatieve en geen absolute leiderschapspositie binnen de ontwikkeling van AI kunnen verkrijgen, door zich te specialiseren in een bepaalde school. Dit geldt ook voor de toepassingen van AI. Het is daarbij niet zeker en zelfs onwaarschijnlijk dat leiderschap binnen een toepassingsdomein ook leiderschap geeft binnen andere domeinen. Zo kan een land leidend zijn in medische toepassingen binnen AI, maar geen of weinig capaciteiten hebben op automatisering of zelfrijdende auto's.

Bovenstaande punten maken duidelijk dat we niet zomaar kunnen spreken van 'een' AI-race, noch van een positie van absoluut leiderschap in de ontwikkeling van AI. Toch zien we in de geschiedenis dat verschillende benaderingen en soorten technologie wel convergeerden richting een centraal model, bijvoorbeeld bij het digitale computerregime bij IT of bij de verbrandingsmotor, die het won van de elektrische en stoomauto begin twintigste eeuw. Zeker in deze tijd van *Great*

158

In de toekomst kunnen deze benaderingen mogelijk geïntegreerd worden, of anderszins convergeren, om tot de echte 'heilige graal' van AI-ontwikkeling te komen: algemene AI (Artificial General Intelligence). Een dergelijk systeem kan elke intellectuele taak uitvoeren die het voorgeschoteld krijgt. Deze ontwikkeling zal de vraag naar technologisch leiderschap relevanter maken – wie beschikt als eerste over dergelijke capaciteiten? – maar ook dan zal dat leiderschap waarschijnlijk beperkt zijn en zal succesvolle inbedding afhankelijk blijven van verschillende contextuele factoren.

Power Competition tussen de VS en China, waarin AI nadrukkelijk met een strategische blik wordt beschouwd, zullen beide grootmachten inzetten op het verkrijgen van een dominante positie op het brede terrein van AI en de *AI-stack*, en deze technologieën en innovaties voor zichzelf proberen te houden.

De keuze van landen om GPT's wel of niet te exporteren is altijd een kwestie van selectief beleid geweest. Landen maakten onderscheid tussen vrienden en vijanden, zoals tijdens Koude Oorlog met de systematische elektrificatie van Europa en de verspreiding van het internet, en tijdens en net na de Tweede Wereldoorlog met de protectionistische en nationalistische maatregelen rondom radiotechnologie. In al deze gevallen werd de technologie sterk verbonden met belangen rondom militaire superioriteit. Gegeven haar militair-civiele toepassingen (zoals slimme wapens) zal AI ook op een dergelijke manier worden gezien.

Internationale competitie betekent overigens niet dat we noodzakelijkerwijs alle beschikbare technologie ook willen inzetten. Zo zien we nu dat China op een aantal terreinen een voorsprong lijkt te hebben – denk aan de integratie van diensten in een ecosysteem als WeChat – maar veel westerse landen wijzen de gebruikte 'Chinese spelregels' af, bijvoorbeeld in termen van privacy-bescherming. Tegelijkertijd zijn er verschillende toepassingen waarvoor we AI zien als 'goede' technologie, of als werkelijk probleemoplossende technologie. Deze manier van redeneren en selecteren vanuit een normatief kader kan tot gevolg hebben, net zoals bij de Franse critici van de stoommachine, dat we een technologische achterstand accepteren wanneer deze technologie onze waarden bedreigt.

Een tegengewicht tegen de neiging van de VS en China om technologieën en innovaties voor zichzelf te houden zou kunnen liggen in de druk van andere partijen – uit beide landen – om de export en internationale diffusie van AI te stimuleren. In de geschiedenis zien we dat de export en internationale diffusie van eerdere GPT's relatief vrij plaatsvond vanuit een economisch en ideologisch perspectief van de industrie respectievelijk de academie, maar dat de politiek hier paal en perk aan stelde. Ook nu zien we dat de ontwikkeling van AI onderdeel is van een bredere digitale cultuur en gemeenschappen waarin de gedachte overheerst dat technologie echt beter wordt door samenwerking, waar open source een illustratie van is. Bedrijven hebben een enorm belang bij een brede adoptie van AI en gooien daarom hun systemen en algoritmes open (denk aan de eerdergenoemde TensorFlow-bibliotheek van Google, of aan GitHub, een online platform voor software). Publieke innovatie met AI wordt in deze context beschouwd als een moreel imperatief en is niet voorbehouden aan de private belangen van bedrijven en strategische operaties van overheden, zeker in het licht van de rol die AI kan spelen op het gebied van klimaatverandering en verduurzaming.

De maatschappelijke en technologische context van AI doet ertoe

We hebben in de historische cases gezien dat een eventuele kennisvoorsprong niet noodzakelijk leidt tot snellere of waardevollere toepassing van de technologie. In het geval van AI is het goed denkbaar dat de meeste waarde wordt toegevoegd in landen die al voor een groot deel gedigitaliseerd zijn, waardoor op voorhand al meer data voorhanden zijn. Een AI-systeem kan dan sneller en krachtiger geïmplementeerd worden en is daarom van grotere strategische waarde. Dit hoeft niet noodzakelijkerwijs een leidend land te zijn in termen van technologieontwikkeling, maar wel bijvoorbeeld in de mate van adoptie van digitale technologie en de wens en slagvaardigheid om sociotechnische en economische systemen te dataficeren. Dit vereist naast economische en politieke ook veel technische complementaire innovaties, zoals nanotechnologie voor sensoren en interfaces voor brede consumentenadoptie. Bovendien moeten er toepassingen aanwezig zijn waardoor dataficerings ook daadwerkelijk waarde toevoegt.

Zo bezien is AI ook een *large technical system* en daarmee afhankelijk van allerlei economische en politieke randvoorwaarden, die ook door andere landen kunnen worden overgenomen – en mogelijk door leereffecten effectiever worden ingezet. Het digitale karakter van AI maakt ook dat nieuwe ontwikkelingsstappen veel sneller en goedkoper geïmplementeerd kunnen worden. Vergelijk bijvoorbeeld de realtime updates van software door het vervangen van een onderdeel van een stoommachine. Digitale technologie kan ook sneller opschalen dan de analoge technologie uit de eerste drie cases, en kennis en kunde kan eenvoudiger gedeeld en toegepast worden in andere (al dan niet aanpalende) domeinen. Een eerste consolidatie van AI-kennis in een beperkt aantal landen lijkt al aan de orde.¹⁵⁹

Tegelijkertijd is het ook zo dat een eenmaal verkregen voorsprong in toepassing(en) van AI door anderen moeilijk in te halen is. In de eerste plaats is dit het gevolg van schaal- en netwerkeffecten: meer toepassingen genereren meer data, waarmee vervolgens weer relatief snel nieuwe en betere slimme toepassingen ontwikkeld (getraind) kunnen worden. Dat betekent dat er een zelfversterkend effect zit in de toepassing en ontwikkeling van AI. Het verschil met voorgaande GPT's is dat de export van slimme producten en diensten andere landen nog geen toegang geeft tot de kerntechnologie. Waar bijvoorbeeld de verbrandingsmotor door andere partijen geanalyseerd kon worden via de import van een auto en *reverse engineering*, blijft het algoritme van een AI-toepassing afgeschermd op het moment dat anderen gebruikmaken van de dienst. Zo is Googles algoritme niet zichtbaar wanneer wij een zoekopdracht invoeren en een overzicht aan webpagina's krijgen.

Dit principe zorgt ervoor dat het gebruik en de consumptie van slimme diensten en producten de achterliggende AI door training beter en slimmer maakt, maar dat deze kennis niet doorsijpelt naar andere partijen en ontwikkelaars. Dit is een van de redenen dat Tesla nu al meer waard is dan de meeste grote autofabrikanten, terwijl het bedrijf een fractie van het aantal auto's produceert: nieuwe autoverkopen leiden tot meer data en dus betere algoritmes voor de zelfrijdende auto's.

De rol van data als grondstof geeft de ontwikkeling van AI een nieuwe dynamiek

De beschikbaarheid van grondstoffen was bij eerdere GPT's van relatief beperkt belang als het gaat om de leiderschapspositie op het gebied van de technologie. Dat wil zeggen: de aanwezigheid van de benodigde grondstoffen was niet bepalend voor de mate waarin de technologie al dan niet werd verspreid. De stoommachine was echt een Britse uitvinding, maar de technologie en de grondstoffen waren wel voor andere landen beschikbaar (als commercieel verkrijgbaar product en gedreven door internationalisme onder ingenieurs). De trage diffusie over de wereld had voornamelijk te maken met de combinatie van lage lonen en hoge kosten van (beschikbare) steenkool, waardoor stoommachines weinig voordeel brachten ten opzichte van waterkracht, lastdieren of mensen. In het geval van elektrotechniek en -mechanica vond volop export plaats en speelde lokale beschikbaarheid van grondstoffen geen significante rol. Hetzelfde gold voor IT en het internet, waarbij de internationale diffusie en adoptie voornamelijk werd bepaald door macro-economische en politieke factoren.

AI is op dit punt niet helemaal vergelijkbaar met de eerdere technologieën, omdat lokale data, als voornaamste grondstof, hoogstwaarschijnlijk wel een grote rol zal spelen in de wereldwijde diffusie en inbedding van AI. Dat wil zeggen, een aantal ontwikkelingen vindt achter gesloten deuren plaats en met name het trainen van AI-systemen, op basis van data, voor specifieke taken wordt vaak als strategische activiteit aangemerkt. Vanwege de netwerkeffecten van data en de leereffecten van AI als functie van computerhardware ligt het belang van een voorsprong of *first-mover advantage* bij AI wezenlijk anders dan bijvoorbeeld bij een stoommachine op basis van kolen of een verbrandingsmotor op basis van aardolie. De beschikbaarheid van trainingsdata is hierin dus een kritieke factor; de data is vaak eigendom van een bedrijf of staat. Met de groeiende economische en strategische waarde van AI zal de open ontwikkelingscultuur hoogstwaarschijnlijk verder onder druk komen te staan.

Dit zien we al in toenemende regulering rondom datalokalisatie en pogingen van landen om hun eigen internet 'af te sluiten' van het wereldwijde internet, om zo de data als kritieke grondstof voor zichzelf te houden (en om kritische data en informatie buiten te houden). De meer liberale geest van de academie en (open source) ontwikkelaarsgemeenschap staat op dit punt tegenover de meer

strategische blik van politici en beleidsmakers. We zien dat AI nu steeds meer wordt beschouwd als technologie die van cruciaal belang is voor de nationale veiligheid; de kennis op dit vlak mag niet in handen vallen van rivalen.

Toch zijn data, in tegenstelling tot andere grondstoffen (zoals olie en kolen), niet-exclusief en niet-rivaliserend. Dat betekent dat alles en iedereen altijd data kan produceren, en dat die data niet in waarde afnemen als ze met anderen worden gedeeld en gebruikt. De kans is dan ook groot dat AI vooral een weg vindt in contexten waar al veel data beschikbaar zijn (voor de training van systemen) en waar loonkosten dusdanig hoog zijn dat een AI-systeem relatief snel rendabel kan zijn. In toenemende mate zien we dat deze data zijn afgeschermd van andere partijen, ofwel in de silo's van de applicaties en platforms van private bedrijven (ook vanwege de *client-server*-architectuur van het internet), ofwel via staats-toezicht. Deze data geven bedrijven en overheden een belangrijke economische en strategische macht. We zien dan ook dat data niet worden behandeld als publiek goed maar als strategisch bezit van partijen.

Computerkracht en geheugenopslag zouden we ook kunnen zien als 'grondstof' voor AI om enorme datasets te analyseren. Deze technologie (zoals halfgeleiders en zeldzame metalen voor computerchips) was voorheen vrijelijk beschikbaar voor landen. De huidige discussie rondom halfgeleiderexport vanuit de VS naar China duidt erop dat ook deze grondstof in toenemende mate vanuit een strategische blik wordt gezien en daarom als bottleneck zou kunnen fungeren in de *AI-stack*.

AI wordt gepercipieerd als belofte en als bedreiging

Eerdere GPT's werden telkens ontvangen met een combinatie van bewondering en angst. Enerzijds was er altijd de belofte van vrijheid, welvaart en modernisering, anderzijds werd elke GPT ook omgeven met allerlei angstbeelden. Het Verenigd Koninkrijk werd weliswaar bewonderd vanwege haar vele (stoom) machines, maar met name vanuit Frankrijk werd er ook met afschuw gekeken naar de manier waarop de technologie werd ingezet. Elektriciteit en IT werden bewierookt om hun 'magische' krachten, maar ook vervloekt vanwege hun effect op de arbeidsmarkt. Straatverlichting had onmiskenbaar voordelen, maar werd ook gezien als vorm van surveillance door de (politie)staat – wat doet denken aan de actuele discussie over gezichtsherkenning en het bredere debat over online privacy.

Dit geeft enerzijds aan dat technologie wordt ervaren als verlengstuk van de zittende macht en ook als zodanig wordt beoordeeld. Anderzijds laat het ook zien hoe de normen (al dan niet rechtstreeks) door de technologie verschuiven en er een nieuwe moraal ontstaat; tegenwoordig ervaren we straatverlichting als een instrument van veiligheid. Ook bij AI spelen tal van dergelijke angstbeelden en

risico's, zoals massale werkloosheid, enorme macht van overheden en bedrijven, en het risico dat de mens de controle verliest over AI. De discussie over automatisering en het effect op werk is al vaker gevoerd bij de introductie van GPT's (met name bij IT en elektriciteit). De vraag is evenwel of AI hiermee vergelijkbaar is, omdat zij niet alleen menselijke fysieke arbeid maar in toenemende mate ook menselijke cognitieve vaardigheden kan automatiseren. Denk bijvoorbeeld aan Google Duplex, een slim reserveringssysteem dat aan de Turingtest heeft voldaan, en dat de baan van receptionisten onder druk dreigt te zetten.

Historisch gezien speelden populaire media een belangrijke rol om hier een maatschappelijk debat van te maken, en zo ook nieuwe stakeholders te betrekken. Ook over AI worden films gemaakt, en er is een journalistieke 'hausse' ontstaan rondom AI en de negatieve effecten die zij met zich mee kan brengen. Bij eerdere GPT's resulteerde dit in regelgeving die de invloed en reikwijdte van de technologie beperkte (zoals codes voor databedrijven en snelheidsbeperkingen voor auto's). Pas met de maatschappelijke adoptie leerde de samenleving de concrete praktijk- en gebruiksproblemen en risico's van de technologie kennen, en bleken veel problemen overkomelijk dankzij beleid en adaptie van burgers en consumenten. Met de eerste adoptie van AI in consumentenproducten en in de publieke ruimte komt deze discussie nu ook op en lijkt er bredere steun te ontstaan voor een grotere rol van de overheid en de introductie van regulering.

Dat betekent ook dat nieuwe stakeholders zich in toenemende mate zullen mengen in het debat, zoals wetenschappers, maar ook ingenieurs en ontwikkelaars van AI, maatschappelijke instituties en natuurlijk burgers en consumenten zelf. Het debat over AI zal daarmee breder worden gevoerd dan bij voorgaande GPT's; de naïviteit waarmee bijvoorbeeld de stoommachine werd ontvangen lijkt nu niet meer voor te stellen. Zo lopen de huidige discussies over AI in historisch opzicht vooruit op de debatten die in het verleden pas later opkwamen, namelijk op het moment dat de technologie grootschalig en breed werd omarmd en geïmplementeerd.

Het is evenwel geen uitgemaakte zaak dat we daarmee 'betere' technologie krijgen dan bij eerdere 'naïeve' adoptie en implementatie van GPT's. Het is namelijk maar de vraag in hoeverre samenlevingen daadwerkelijk grip krijgen op de ontwikkeling van de technologie en de keuzes die daarin gemaakt worden. De Open source- en cryptogemeenschap, net als een aantal maatschappelijke organisaties, verkondigen de boodschap dat AI en data open, publieke voorzieningen zouden moeten zijn, die een maatschappelijke rol hebben te vervullen (bijvoorbeeld in het oplossen van klimaatproblemen en het stimuleren van lokale economieën). Tegelijkertijd is een groot deel van de ontwikkeling van AI-toepassingen momenteel in handen van een beperkt aantal technologiebedrijven en het is maar de vraag in hoeverre zij bereid

zijn de maatschappij hierin op een betekenisvolle manier te laten meepraten. Bovendien zien we aan beide einden van dat spectrum een gedeeld geloof in de mogelijkheden van AI, vanuit eenzelfde vooruitgangdenken als we bij eerdere GPT's zagen – denk aan de ontwikkeling van IT als *technologies of freedom* of elektriciteit als middel van de vooruitgang en modernisering van Europa.

AI vraagt om een actieve rol van de overheid

De maatschappelijke strijd rond de auto concentreerde zich eerst op de vraag: van wie is de straat? Dit mondde al snel uit in een klassenstrijd tussen welvarende autobezitters en andere, minder welvarende weggebruikers. Ook in het geval van AI kunnen we stellen dat in sterke mate het idee leeft dat AI vooral ten goede zal komen aan de welgestelden. Zij zullen als eerste toegang hebben tot de technologie, gebruik kunnen maken van afgeleide diensten, minder hoeven vrezen voor hun banen, en zich ook beter kunnen wapenen tegen schadelijke gevolgen zoals de inbreuk op privacy. Dit laat onverlet dat digitale technologie in potentie juist eerder breed beschikbaar is, dankzij snelle prijsdalingen, eenvoudiger distributie en de grote schaal en netwerkeffecten waardoor de technologie snel in waarde toeneemt.

Een van de 'fouten' die gemaakt zijn (in de VS althans) is dat de auto te zeer bevoorreed werd ten opzichte van andere vervoersmodaliteiten. Maatschappijen worstelen nog steeds met de vraag hoe autoverkeer beter gereguleerd kan worden en hoe mensen gestimuleerd kunnen worden om over te stappen op andere modaliteiten. Ten opzichte van dit grotere vraagstuk kunnen we achteraf ook stellen dat kleine maatregelen als stoplichten, rijbewijzen en maximumsnelheden weliswaar noodzakelijk waren, maar bij lange na niet afdoende om de grootste en meest 'schadelijke' impact van de auto in te perken. Vanuit dit perspectief kunnen we ook nadenken over de maatschappelijke inbedding van AI; niet alleen moeten we proberen excessen te vermijden, we moeten in bredere zin waken voor de dominantie van AI in verschillende domeinen van de maatschappij en de economie.

Daarnaast staat de ontwikkeling van AI onder veel meer maatschappelijk en politiek 'toezicht' dan de besproken technologieën uit het verleden. Dit komt enerzijds door de grotere rol van de overheid in het dagelijks leven (zelfs na de relatieve terugtrekking van de staat in veel ontwikkelde landen als gevolg van het neoliberalisme van de jaren tachtig). Anderzijds komt het doordat een veel grotere groep stakeholders betrokken is bij de ontwikkeling en adoptie van de technologie. IT heeft burgers mondiger gemaakt en informatie gemakkelijker vindbaar, terwijl ook meer organisaties (zoals belangenorganisaties en ngo's) al vroeg op een kritische manier betrokken zijn bij de ontwikkeling van AI.

Door deze reflexieve blik en nadruk op risico's, vanuit wat Ulrich Beck de 'risicomaatschappij' noemt¹⁶⁰, zien we bij AI niet het gebrek aan overzicht, zoals bij de stoommachine, of een zekere mate van naïviteit, zoals bij de auto. Daarvoor zijn er simpelweg te veel overheidscommissies, wetenschappers en denktanks die waarschuwen voor de mogelijke gevolgen van deze technologie. Tegelijkertijd zijn de huidige AI-bedrijven enorm machtig. Juist omdat zij de algoritmes bezitten die de informatievoorziening regelen, bepalen zij groten-deels hoe deze discussie wordt gevoerd en op welke manier informatie goed beschikbaar komt. Op die manier is de industrie beter in staat om juist het 'zachte' aspect, het sociale aspect van sociotechnische systemen, te vormen naar haar eigen belangen.

Een valse dichotomie tussen leiderschap en moreel-maatschappelijke implementatie

We willen afsluiten met de vaststelling dat er vaak een valse dichotomie wordt geschetst tussen technologisch leiderschap enerzijds en moreel-maatschappelijk verantwoorde implementatie van technologie; alsof technologisch leiderschap vereist dat de emergente technologie geen strobreed in de weg mag worden gelegd en dat elke vorm van maatschappelijke bemoeienis noodzakelijkerwijs leidt tot vertraging of minder 'krachtige' technologie.

Het is belangrijk voor ogen te houden dat er een minder scherpe afruil bestaat tussen het behalen van een technologische voorsprong en een moreel-maatschappelijk verantwoorde inzet. Het is niet zo dat we moeten kiezen tussen enerzijds het verkrijgen van een internationale voorsprong (of niet te ver achterop raken) en anderzijds het maatschappelijk verantwoord inzetten van de technologie, wat per definitie tot een vertraging zou leiden. Juist het belang van een degelijke maatschappelijke inbedding (uitgaande van lokale waarden) kan op termijn een strategisch voordeel opleveren, vanwege bredere adoptie en implementatie van AI in de samenleving en economie.

Een technologie die breed maatschappelijk wordt geaccepteerd leidt in het geval van AI tot meer en mogelijk betere data, een grotere bereidwilligheid om AI te implementeren in maatschappelijke besluitvormings- en productieprocessen, en daarmee een zichzelf versterkend proces van dataficatie en ‘verslimming’ op basis van AI-systemen. Dit kan ook het geval zijn wanneer dit model van AI-inbedding een wereldwijde standaard definieert en ideeën/regels over verantwoorde inbedding een exportproduct worden. De historische vergelijking van GPT’s toont dat een deugdelijke inbedding van technologie uiteindelijk de beste lokale ‘maatschappelijke’ resultaten oplevert. Dit alles laat zien dat er een belangrijk verband bestaat tussen technologisch leiderschap en de maatschappelijke inbedding van technologie, en dat daarom de staat hierin een belangrijke rol dient te spelen.

Literatuur

- Abbate, J. (2000) *Inventing the Internet*, Cambridge, Mass.: MIT press.
- Allen, R.C. (2009) *The British Industrial Revolution in Global Perspective*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Bakker, S. (2017) *From Luxury to Necessity: What the Railways, Electricity and the Automobile Teach Us about the IT Revolution*, Amsterdam: Boom.
- Batra, G., Z. Jacobson, S. Madhav, A. Queirolo en N. Santhanam (2019) *Artificial-intelligence hardware: New opportunities for semiconductor companies*, beschikbaar op: www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/artificial-intelligence-hardware-new-opportunities-for-semiconductor-companies.
- Beck, U. (1992) *Risk Society: Towards a New Modernity*, London: Sage Publications
- Bekar, C., K. Carlaw en R. Lipsey (2016) 'General Purpose Technologies in Theory, Applications and Controversy: A Review', *Journal of Evolutionary Economics* 28, 5: 1005-1033.
- Brandes, D, Zobrist,, L. (2015) *Man and Machine: Robots on the rise? The impact of automation on the Swiss job market*, beschikbaar op: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/innovation/ch-en-innovation-automation-report.pdf>
- Bresnahan, T.F. en M. Trajtenberg (1992) *General Purpose Technologies 'Engines of Growth?'*, NBER Working Paper 4148, Cambridge, Mass.: National Bureau of Economic Research.
- Bressand, A. (1990) 'Electronics Cartels in the Making', *Transatlantic Perspectives* 21: 3-6.
- Brittain, J. E. (1974) 'The International Diffusion of Electrical Power Technology, 1870-1920', *The Journal of Economic History* 34, 1: 108-121.
- Bughin, J., J. Seong, J. Manyika, M. Chui en R. Joshi (2018) *Notes from the AI Frontier: Modeling the Impact of AI on the World Economy*, Discussion Paper, beschikbaar op: www.mckinsey.com/-/media/McKinsey/Featured%20Insights/Artificial%20Intelligence/Notes%20from%20the%20frontier%20Modeling%20the%20impact%20of%20AI%20on%20the%20world%20economy/MGI-Notes-from-the-AI-frontier-Modeling-the-impact-of-AI-on-the-world-economy-September-2018.ashx.
- Burnham, D. (1983) *The Rise of the Computer State*, New York: Random House Inc.
- Bynum, T. W. en S. Rogerson (1996) 'Introduction and Overview: Global Information Ethics', *Science and Engineering Ethics* 2, 2 :131-136.
- Campbell-Kelly, M. (2004) *From Airline Reservations to Sonic the Hedgehog: A History of the Software Industry*, Cambridge, Mass.: MIT press.

- Cardwell, D.S.L. (2001) *Wheels, Clocks, and Rockets: A History of Technology*, New York: W.W. Norton.
- Caselli, F. en W.J. Coleman (2001) 'Cross-Country Technology Diffusion: The Case of Computers', *American Economic Review* 91, 2: 328-335.
- Channell, D.F. (2017) *A History of Technoscience: Erasing the Boundaries Between Science and Technology*, London: Routledge.
- David, P.A. (1990) 'The Dynamo and the Computer: An Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox'. *The American Economic Review* 80, 2: 355-361.
- Dholakia, N., R.R. Dholakia en N. Kshetri (2004) 'Global Diffusion of the Internet', blz. 1-14 in H. Bidgoli (ed.) *The Internet Encyclopedia*, New York: Wiley.
- Diebold, J. (1952) *Automation: The Advent of the Automatic Factory*, New York: Van Nostrand.
- Ende, J. van den en R. Kemp (1999) 'Technological Transformations in History: How the Computer Regime Grew out of Existing Computing Regimes', *Research Policy* 28, 8: 833-851.
- European Commission (2018) *Coordinated Plan on Artificial Intelligence (COM(2018) 795 Final)*, beschikbaar op: https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/coordinated-plan-artificial-intelligence-com2018-795-final_en.
- EZK (2019) *Strategisch Actieplan voor Artificiële Intelligentie*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- Field, A.J. (2008) *Does Economic History Need GPTs?*, Santa Clara: Santa Clara University.
- Flink, J.J. (1990) *The Automobile Age*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Floridi, L. (2010) *The Cambridge Handbook of Information and Computer Ethics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Freeman, C. en F. Louçã (2001) *As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*, Oxford: Oxford University Press.
- Garisto, D. (2019) *Google AI beats top human players at strategy game StarCraftII. DeepMind's AlphaStar beat all but the very best humans at the fast-paces sci-fi video game*, beschikbaar op: www.nature.com/articles/d41586-019-03298-6.
- Gartner (2019) *Gartner Survey Shows 37 Percent of Organizations Have Implemented AI in Some Form*, beschikbaar op: www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-01-21-gartner-survey-shows-37-percent-of-organizations-have.
- Hallon, L. (2001) 'Systematic Electrification in Germany and in Four Central Europe States in the Interwar Period', *Icon* 7: 135-147.

- He, K., X. Zang, S. Ren en J. Sun (2015) *Delving Deep into Rectifiers: Surpassing Human-Level Performance on ImageNet Classification*, beschikbaar op: arxiv.org/pdf/1502.01852v1.pdf.
- Helpman, E. en M. Trajtenberg (1994) *A Time to Sow and a Time to Reap: Growth Based on General Purpose Technologies*, NBER Working Paper 4854. Cambridge, Mass.: National Bureau of Economic Research.
- Hernandez, Z. (2004) 'Industrial Policy in East Asia: In Search for Lessons'. Paper prepared for *World Development Report 2005: A Better Investment Climate for Everyone*. Washington DC: World Bank.
- Hughes, T.P. (1983) *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Jacobson, M.Z. (2012) *Air Pollution and Global Warming: History, Science and Solutions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jovanovic, B. en P.L. Rousseau (2005) *General Purpose Technologies*, NBER Working Paper 11093, Cambridge, Mass.: National Bureau of Economic Research.
- Kaiser, W. en J.W. Schot (2014) *Writing the Rules for Europe: Experts, Cartels and International Organizations*, London: Palgrave Macmillan.
- Kanger, L., F.W. Geels, B. Sovacool en J. Schot (2019) 'Technological Diffusion as a Process of Societal Embedding: Lessons from Historical Automobile Transitions for Future Electric Mobility', *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 71: 47–66.
- Klein, M. (2007) *The Genesis of Industrial America, 1870-1920*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Klinger, J., J. Mateos-Garcia en K. Stathoulopoulos (2018) 'Deep Learning, Deep Change? Mapping the Development of the Artificial Intelligence General Purpose Technology', beschikbaar op: <https://arxiv.org/pdf/1808.06355.pdf>.
- Kshetri, N.B. (2001) 'Determinants of the Locus of Global E-commerce', *Electronic Markets* 11, 4: 250-257.
- Legendijk, V. (2008) *Electrifying Europe: The Power of Europe in the Construction of Electricity Networks*, Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Langione, M., C. Tillemann-Dick, A. Kumar en V. Taneja (2019) *Where Will Quantum Computers Create Value—and When?*, Boston: Boston Consulting Group.
- Lean, T. (2016) *Electronic Dreams: How 1980s Britain Learned to Love the Computer*, London: Bloomsbury Publishing.
- Lee, J., F.M. Veloso, D.A. Hounshell en E.S. Rubin (2010) 'Forcing Technological Change: A Case of Automobile Emissions Control Technology Development in the US', *Technovation* 30, 4: 249-264.

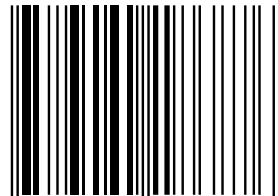
- Lipsey, R.G., K.I. Carlaw en C.T. Bekar (2005) *Economic Transformations: General Purpose Technologies and Long-Term Economic Growth*, Oxford: Oxford University Press.
- Mahoney, M.S. (1988) 'The History of Computing in the History of Technology', *Annals of the History of Computing* 10, 2: 113-125.
- Manyika, J., S. Lund, M. Chui, J. Bughin, J. Woetzel, P. Batra, R. Ko en S. Sanghvi (2017) *Jobs Lost, Jobs Gained: What the Future of Work Will Mean for Jobs, Skills, and Wages*, beschikbaar op: www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages.
- Mazzucato, M. (2013) *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Londen: Anthem Press.
- Milner, H.V. (2003) 'The Global Spread of the Internet: The Role of International Diffusion Pressures in Technology Adoption', *2nd Conference on Interdependence, Diffusion, and Sovereignty*, UCLA, California, beschikbaar op: https://scholar.princeton.edu/sites/default/files/hvmilner/files/milner_internet_diffusion8-03.pdf.
- Missemer, A. (2012) 'William Stanley Jevons' The Coal Question (1865), Beyond the Rebound Effect', *Ecological Economics* 82: 97-103.
- Morin, M. (2015) *The Labor Market Consequences of Electricity Adoption: Concrete Evidence from the Great Depression*, Cambridge Working Papers in Economics 1554, Cambridge: Faculty of Economics, University of Cambridge.
- Mumford, L. (2010) *Technics and Civilization*, Chicago: University of Chicago Press.
- National Research Council (1999) *Funding a Revolution: Government Support for Computing Research*, Washington DC: The National Academies Press.
- Naughton, J. (2016) 'The Evolution of the Internet: From Military Experiment to General Purpose Technology', *Journal of Cyber Policy* 1, 1: 5-28.
- Nye, D.E. (1990) *Electrifying America: Social Meanings of a New Technology*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Norton, P.D. (2011) *Fighting Traffic: The Dawn of the Motor Age in the American City*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Nuvolari, A. (2019) 'Understanding Successive Industrial Revolutions: A "Development Block" approach', *Environmental Innovation and Societal Transitions* 32: 33-44.
- Nuvolari, A., B. Verspagen en N. Von Tunzelmann (2011) 'The Early Diffusion of the Steam Engine in Britain, 1700-1800: A Reappraisal', *Cliometrica* 5, 3: 291-321.
- Perez, C. (2002) *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*, Cheltenham: Edward Elgar Publishing.

- Price, R. (2017) *Microsoft's AI is getting crazily good at speech recognition*, beschikbaar op: www.insider.com/microsofts-speech-recognition-5-1-error-rate-human-level-accuracy-2017-8.
- Purdy, M. en P. Daugherty (2017) *How AI Boosts Industry Profits and Innovation*, beschikbaar op: www.accenture.com/fr-fr/acnmedia/36dc7f76eab444cab6a7f44017cc3997.pdf.
- PwC (2017) *Sizing the Prize. What's the Real Value of AI for Your Business and how can you Capitalize?*, beschikbaar op: www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf.
- Reinsel, D., J. Gantz J. en Rydning (2018) *The Digitization of the World: From Edge to Core*, beschikbaar op: www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/dataage-idc-report-final.pdf.
- Riello, G. en P. O'Brien (2004) *Reconstructing the Industrial Revolution: Analyses, Perceptions and Conceptions of Britain's Precocious Transition to Europe's First Industrial Society*, Economic History Working Papers No. 84/04, London: Department of Economic History, London School of Economics.
- Rose, F. (1984) *Into the Heart of the Mind: An American Quest for Artificial Intelligence*, New York: First Vintage Books.
- Rosenberg, N. en M. Trajtenberg (2004) 'A General-Purpose Technology at Work: The Corliss Steam Engine in the Late-Nineteenth-Century United States', *The Journal of Economic History* 64, 1: 61-99.
- Schumpeter, J. A. (1934) *The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press
- Secretary's Advisory Committee on Automated Personal Data Systems (1973) *Records Computers and the Rights of Citizens*, beschikbaar op: www.justice.gov/opcl/docs/rec-com-rights.pdf.
- Shadrach, B. (2002) 'India's Development Information Network: Lessons Learned', *Bulletin of the American Society for Information Science and Technology* 28, 2: 23-27.
- Silverberg, G.P. (2003) *Long Waves: Conceptual, Empirical and Modelling Issue*, UNU-MERIT Research Memorandum 015, Maastricht: UNU-MERIT.
- Smil, V. (2010) *Prime Movers of Globalization: The History and Impact of Diesel Engines and Gas Turbines*, Cambridge, Mass.: MIT press.
- Steinmueller, W.E. (1995) *The US Software Industry: An Analysis and Interpretative History*, MERIT Research Memorandum 006, Maastricht: UNU-MERIT.
- Stewart, L. (1998) 'A Meaning for Machines: Modernity, Utility, and the Eighteenth-Century British Public', *The Journal of Modern History* 70, 2: 259-294.

- Teradata (2017) *State of Artificial Intelligence for Enterprises*, beschikbaar op: http://assets.teradata.com/resourceCenter/downloads/ExecutiveBriefs/EB9867_State_of_Artificial_Intelligence_for_the_Enterprises.pdf.
- Thomas, D.E. (1978) 'Diesel, Father and Son: Social Philosophies of Technology', *Technology and Culture* 19, 3: 376-393.
- Trajtenberg, M. (2018) *AI as the next GPT: A Political-Economy Perspective*, NBER Working Paper 24245, Cambridge, Mass.: National Bureau of Economic Research.
- Turing, A.M. (1950) 'Computing Machinery and Intelligence', *Mind* 59, 236: 433-460.
- Vleuten, E. van der, R. Oldenziel en M. Davids (2017) *Engineering the Future, Understanding the Past: A Social History of Technology*, Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Westin, A.F. (1972) *Databanks in a Free Society: Computers, Record-Keeping and Privacy; Report*, Chicago: Quadrangle Books.
- Wicklein, J. (1981) *Electronic Nightmare: The New Communications and Freedom*. New York: Viking Press.
- Yates, J. en C.N. Murphy (2019) *Engineering Rules: Global Standard Setting Since 1880*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Artificiële intelligentie als een general purpose technology

Strategische belangen en verantwoorde
inzet in historisch perspectief



9 789490 186876 >