**Op weg met nieuwe technologie**

Eric Bartelsman, Vrije Universiteit Amsterdam en Tinbergen Institute

16 september 2019

*De samenleving lijkt zich op een tweesprong te bevinden, met nieuwe productietechnologieën die het potentieel hebben om de manier waarop huishoudens bijdragen aan en profiteren van economische activiteit drastisch te veranderen. De ‘onzichtbare hand’ zal ons niet zomaar leiden naar maatschappelijke verbetering. Om de belofte van de nieuwe technologie te verzilveren, zal het beleid zich moeten aanpassen aan de veranderingen in de allocatie van middelen en de verdeling van inkomen die de nieuwe productietechnologieën met zich meebrengen.*

Dit artikel is gebaseerd op Bartelsman, E.J. (forthcoming) “From New Technology to Aggregate Productivity”, DG ECFIN Discussion Paper.

Een reeks nieuwe technologieën --- waaronder universele robots, zelfrijdende voertuigen--- die zich de afgelopen tien jaar ontwikkelden, komen sneller naar de markt dan verwacht. Brynjolfsson en McAfee (2011, 2014), geven op overtuigende wijze aan dat de nieuwe technologieën de organisatie van de productie zullen verstoren, de aard van het werk zullen verbeteren en de ervaring van consumenten zal verruimen. McKinsey en Company (2013) onderscheidde vijf technologiegroepen, gerelateerd aan energie, het genoom, geavanceerde materialen, automatisering (robots) en data(verwerking), die de potentie hebben om ‘het leven, het bedrijfsleven en de wereldeconomie' in de periode tot 2025 te veranderen. Dit artikel gaat specifiek in op de twee laatste technologieën, en beschrijft of, en in welke mate, deze de welvaart kunnen verbeteren en welk beleid nodig is om de belofte te verzilveren.

NIEUWE TECHNOLOGIEEN

De vooruitgang in robotica lijkt op schema te liggen sinds de prognose van McKinsey. De door kunstmatige intelligentie (AI) gestuurde robots vervangen arbeid, of ze nemen werktaken op zich die de (fysieke) mogelijkheden van mensen te boven gaan (Frey and Osborne 2017). Veel van de nieuwe robots kunnen zonder beveiligingskooi direct naast mensen werken, en de totale kosten van gebruik zit nu rond de vijf à tien euro per uur (Bartelsman, 2019). Deze robots zijn geschikt voor het MKB en kunnen nu ook, dankzij AI, gevoelige taken verrichten zoals het plukken of snijden van tomaten.

Zelfrijdende auto's spreken al tot de verbeelding sinds de eerste grote DARPA-uitdaging van 2004, toen geen van de deelnemers aan de autonome voertuigcompetitie de finish bereikte. In 2013 testte Google (nu Waymo) autonome auto’s en sindsdien hebben veel concurrenten zich in de strijd geworpen. McKinsey (2013) verwachtte dat niveau 4 zelfrijdende auto’s (met een bestuurder voor het geval dát) rond 2030 op de markt zouden komen, nu worden ze al in het komend jaar verwacht. De impact van autonoom vervoer van fysieke objecten in de productieketen is economisch nog belangrijker dan personenvervoer. In combinatie met sensoren, mobiele communicatie en AI neemt het aantal locaties en omstandigheden waar autonoom transport arbeid kan verdringen, gestaag toe.

McKinsey (2013) gaf al aan dat AI een aanvulling zou zijn op veel van de andere disruptieve technologieën, waardoor hun vooruitgang zou worden versneld en de omvang en reikwijdte van hun impact zou toenemen. De doorbraken op het gebied van AI-technieken sinds 2013 zijn opmerkelijk en hebben geleid tot snellere toepassingen, met name op gebieden waar geen grote, geannoteerde datasets beschikbaar zijn (bv. Creswell, 2018). Met behulp van AI zou ook de marginale kosten van het gebruik van de eerdergenoemde hardware technologieën omlaag kunnen. Voorts kan de combinatie van AI met de andere technologieën, met name bij patroonanalyse (zie bijvoorbeeld het multimodale leren van Baltrusaitis e.a. 2019), de complementariteit tussen kapitaal- en kenniswerkers vergroten, terwijl het de vervanging van werknemers in routinetaken versnelt. Deze trends beloven niet veel goeds voor de inkomensverdeling.

ECONOMISCHE ANALYSE

Een uitstekende verzameling papers getiteld "The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda" (Agrawal et al. 2019) geeft het huidige academische denken over dit onderwerp weer. Eén relevant aspect van AI voor het veranderen van de structuur van de economische productie is in het maken van prognoses en de automatisering van prognose-afhankelijke beslissingen (zie Agrawal 2019). Milgrom en Tadelis (2019) bespreken hoe AI kan worden gebruikt om vraag en aanbod beter op elkaar af te stemmen en marktfricties te verminderen. AI-analyse van historische transactiegegevens worden nu ingezet in platformmarkten en versterken de tendens naar een zeer geconcentreerde, zo niet monopolistische, marktstructuur.

De positieve potentiële effecten van de nieuwe technologieën --- een hogere arbeidsproductiviteit, een hogere bezettingsgraad van kapitaalgoederen en betere aansluiting van vraag en aanbod --- laten zich moeilijk rijmen met de macro-trends. De productiviteitsgroei is de laatste jaren erg laag in alle geavanceerde economieën (OECD 2019a) en de loongroei blijft nog verder achter. De investeringsquote heeft zich niet hersteld tot het niveau van vóór de crisis, zelfs niet nu de waarderingen van met name hightechbedrijven stijgen (Gutiérrez en Philippon 2016, 2017). Tegelijkertijd neemt het arbeidsaandeel in de productie af, terwijl de winstpercentages lijken toe te nemen (Karabarbounis en Neiman, 2014; de Loecker en Eeckhout 2017). De top vijf procent van de bedrijven zijn goed voor het overgrote deel van de totale winst en zijn de enige met een hoge productiviteitsgroei (Andrews et al., 2016).

Op microniveau zijn er meer herkenbare signalen van de impact van technologieën beschikbaar, niet allemaal rooskleurig. De totale factorproductiviteit neemt toe als marktaandelen verschuiven naar productievere technologie-intensieve bedrijven en als er diffusie is van de technologie naar achterblijvende bedrijven. Dit proces van herallocatie kan echter worden belemmerd door concurrentiebeperkend gedrag van technologie-intensieve bedrijven (Bartelsman et al. 2019). Voor werknemers kan de technologieën een bedreiging zijn: zelf rijdende taxi’s nemen de plaats in van chauffeurs, of robots verdringen laagbetaalde krachten in landbouw en horeca. (Acemoglu en Autor, 2011). In het verleden vielen de ontslagen vooral in het 'midden' van de verdeling van vaardigheden, maar het patroon zal in de toekomst minder voorspelbaar worden onder invloed van nieuwe algoritmes (OESO, 2019). Voor werknemers die door de technologie verdrongen raken, wijst recente onderzoek op een levenslange inkomstenderving door een combinatie van minder werk en lagere lonen (Bessen, 2018). De technologieën hebben ook voordelen vanwege flexibilisering van productieprocessen, zodat het arbeidsaanbod op een betere manier kan worden afgestemd op de vraag.

Ten slotte zijn er veel veranderingen in de markten voor eindproducten en -diensten, waardoor het moeilijk wordt om BBP groei goed te meten. Het BBP zoals het nu gedefinieerd en geïmplementeerd wordt, zal steeds minder geschikt worden als beleidsdoel (Stiglitz, Fitoussi en Durand, 2018). De nieuwe technologie bemoeilijkt om verschillende redenen de ontvlechting van prijs- en kwantiteitsbewegingen en vervaagt de grens tussen activiteiten die bijdragen aan het nationaal inkomen en activiteiten die dat niet doen (Coyle, 2015).

Ondanks de mooie nieuwe technologieën neemt de onzekerheid van huishoudens toe en maken mensen in de geïndustrialiseerde landen zich zorgen over het financiële welzijn van hun nakomelingen (Pew Research Center, 2019 Global Attitude Survey). De burger voelt de maatschappelijke verstoringen door de platformindustrieën (bv. huurwoningen, taxivervoer, online detailhandel), heeft privacy-zorgen over sociale netwerken en kijkt argwanend naar onbelaste superwinsten van de superster bedrijven; alle potentiele voordelen van de nieuwe technologie wegen hier nauwelijks tegenop, zo lijkt het. Deze zorgen vinden hun weg naar de top van de agenda's van de beleidsmakers, en veel beleidsvoorstellen zoals hogere minimumlonen, basisinkomens, progressievere inkomstenbelasting, hogere vennootschapsbelasting, belastingen op robots, opsplitsing van de grootste technologiebedrijven, enz. zijn onlangs gelanceerd. Tegelijkertijd is er bij beleidsmakers ook bezorgdheid over de trage invoering van nieuwe technologieën. De snelheid waarmee de noodzaak van beleidshervormingen op de agenda is gekomen, heeft economen verrast, waardoor de debatten over beleidsvoorstellen zouden plaatsvinden zonder empirische economische basis of samenhangend economisch model.

Traditionele modellen van economische groei, zoals Solow (1958) en Romer (1989), sloten goed aan bij empirische groei-feiten van de vorige eeuw, de zogenaamde "Kaldor-feiten" (Kaldor 1961). Jones en Romer (2010) laten zien dat deze feiten niet langer standhouden.

Een nieuw kader dat het traject van digitale technologieën naar productiviteitsgroei en welvaart goed kan beschrijven heeft enkele noodzakelijke ingrediënten (zie Bartelsman 2019). De belangrijkste ingrediënten zijn immateriële activa en bedrijvendynamiek. Immateriële kapitaalgoederen verschillen van traditioneel kapitaal doordat er geen schaarste optreedt in het gebruik: als ik een moker gebruik om een steen stuk te slaan kan jij de moker niet ook gebruiken, terwijl als ik een algoritme gebruik om probleem stuk te slaan, jij het algoritme op elk gewenst moment of op elke gewenste locatie ook kunt gebruiken zonder toenemende kosten. Een goed voorbeeld van een model dat in overeenstemming is met de recente macro- en microtrends en waarmee beleidsanalyse kan worden gedaan is Akcigit en Ates (2019). Zij wijzen op een afname in de diffusie van kennis tussen bedrijven, wellicht vanwege toegenomen marktmacht, als verklarende factor.

BELEIDSRICHTINGEN

Trajtenberg (2018) wijst op de urgentie voor nieuwe beleid met het oog op AI en benadrukt de noodzaak van hervormingen in het onderwijs. Verder is er beleid nodig voor inkomensonzekerheid en sociale inclusie. Wat vooral belangrijk is, zijn aanpassingen in mededingingsbeleid en randvoorwaarden die nodig zijn om investeringen in de digitale toekomst te stimuleren en in goede banen te leiden.

OCW/SZW

In perfect concurrerende arbeidsmarkten hangt het werkgelegenheidseffect van nieuwe digitale technologieën af van de vrije keuzes van de werknemers en is er geen reden voor beleidsinterventie. In de echte wereld leiden ontwrichtende veranderingen in productieketens tot langdurig baanverlies. De onderhandelingspositie van werknemers in arbeidsmarkten met zulke ontwrichting zal sterk verzwakken. Bovendien kunnen nieuwe technologieën de inkomensongelijkheid vergroten. Ten slotte wordt de arbeidsmarktstatus van werknemers steeds meer diverse, mede doordat technologische veranderingen teweegbrengt in de kosten en baten tussen werken in loondienst en werken als zelfstandige. Hierom zou het arbeidsmarktbeleid erop gericht moeten zijn alle werkenden voldoende bescherming en verzekering te bieden, ongeacht hun arbeidsmarktstatus.

Een zeer duur middel voor onvoorwaardelijke bescherming is het basisinkomen (zie bijv. Saez en Pikkety 2013). Efficiëntere vormen van sociale zekerheid zijn doorgaans afhankelijk van de (recente) arbeidsmarktstatus en vergen aandacht voor een goede classificatie van arbeidsmarktstatus en controle op schijnzelfstandigheid. Risicospreiding op basis van andere kenmerken dan arbeidsmarktstatus zou een win-win opleveren. Zo zou een werkloosheidsverzekering kunnen afhangen van plaats- in plaats van baangebonden kunnen zijn. Evenzo zouden ziekteverzuimverzekeringen of onderwijs- of opleidingsbudgetten kunnen worden geformuleerd op basis van beroep en niet op basis van arbeidscontract. De opleiding van werkenden, een cruciaal onderdeel van de 'race tussen technologie en onderwijs' (Tinbergen, 1975; Heckman 2019), zou in dit geval niet langer afhankelijk zijn van een werkgever die vooral bezig is met het vervangen van werknemers door machines.

Wat het onderwijs betreft, zijn de belangrijkste beleidsvragen voor wie, welk type en hoe te organiseren? Omdat de afschrijving op onderwijs versneld wordt door nieuwe technologieën is er meer behoeft aan onderwijs voor oudere werkenden. De aandacht naar bèta/technisch onderwijs lijkt doorgeschoten in een wereld waar de meest geavanceerde bedrijven vooral multidisciplinaire teams vragen met een steeds grotere rol voor alfa en gamma opgeleiden. Naarmate de technologie vordert, worden de programmeurs vervangen door code-bots, en wordt de belangrijkste vaardigheid de vaardigheid om vaardigheden te verwerven. Ten slotte moet het onderwijssysteem aangepast zodat het een groter aandeel van ons inkomen inneemt. Dit vereist een beter evenwicht tussen publieke en private bekostiging en tussen vraag en aanbod. Met inzicht in het rendement het onderwijs en de cumulatieve effecten van de verwerving van vaardigheden in een vroeg stadium (Heckman 2009) zou een heroverweging van ons aanbodgestuurd systeem evident moeten zijn.

EZK en Mededinging

Het beleid ter stimulering van innovatie moet vooral gericht zijn op het voorkomen van toenemende marktconcentratie, misbruik van markt macht, en belastingontwijking. Op basis van het eerder besproken economische kader, zullen bedrijfsinvesteringen in innovatieve activiteiten vooral afhangen van de verwachting dat succesvolle innovatie zal leiden tot een toename van het marktaandeel en van de winst. Ook kunnen complementaire publieke investeringen helpen om private investeringen te stimuleren zonder dat ze leiden tot grote marktconcentratie. Het specifieke beleid om dynamische concurrentie te stimuleren zal per technologie verschillen, maar we geven enkele voorbeelden.

Voor autonome voertuigen zijn er grote kansen in de Europese Unie. In tegenstelling tot de VS, waar hoofdzakelijk wordt geïnvesteerd in technologieën die volledig in het voertuig zijn ingebed, kan in de EU met publiek-private samenwerking een technologie-intensieve transportsysteem ontstaan. De Europese strategie voor coöperatief intelligente vervoerssystemen (C-ITS) aangevuld door overheidsinvesteringen in sensoren in de openbare ruimte, bijvoorbeeld verkeersborden en -signalen die hun positie kenbaar maken, kan de vorming van een open transportmarkt bespoedigen. Het Amerikaanse systeem leidt tot een dynamiek van "winner-take-all".

Een andere technologie-cluster wordt gevormd door platformdiensten die de vraag- en aanbodzijde van een markt met elkaar verbinden. We zien nu platforms voor deelgebruik (woningverhuur, autodelen), goederenbezorging (boeken, levensmiddelen of maaltijden) en diensten (taxiservice, hotelboeking, arbeidskrachten). Deze platforms zijn het moderne equivalent van de Bazars of Middeleeuwse Europese markten met ‘charters’ of oorkondes. In Europa is het de traditie om markten te zien als openbare ruimte. Historische waren de markten goed gereguleerd. De openingstijden en de locatie van de markt waren gecoördineerd en concurrerende marktplekken werden verboden waardoor handelsvolume en liquiditeit van de markt werden gegarandeerd. Maten en gewichten, de echtheid van munten, en de handhaving van orde werd door de autoriteiten gehandhaafd waardoor de markten tot bloei konden komen. Ten slotte werd de huur die de markteigenaar (in de middeleeuwen meestal een lokale landheer) kon innen begrensd door concurrentie van geografisch aangrenzende markten.

De beleidsoplossing voor de macht van platformbedrijven moet de bron van het probleem aangrijpen, namelijk eigendom van en controle over historische transactiegegevens. In principe geeft de GDPR van de EU de transactiepartners het recht om hun eigen gegevens in machine-leesbare vorm op te vragen. Het is echter de totale verzameling van dergelijke gegevens van alle transactiepartners die door AI-analyse nog meer marktmacht brengt. Dit geeft twee mogelijkheden: In de eerste plaats zouden lokale autoriteiten met regelgevende macht, bijvoorbeeld op het gebied van taxidiensten, hun vergunningen voor het platform afhankelijk maken van de voorwaarde dat alle transactiegegevens moeten worden gedeeld (op een manier die de privacy beschermt), door alle concurrenten. Om de externe effecten van het netwerk aan de gebruikerszijde tegen te gaan, moet het berichtenprotocol van het platform open zijn, zodat elke bestuurder elke passagier kan ontmoeten, ongeacht welke concurrerende app wordt gebruikt of welk analyse- en betalingsplatform de ritten verwerkt en coördineert. Op deze manier wordt de taximarkt meer een middeleeuwse markt, met niet-discriminerende toegang van kopers tot verkopers en vice-versa. Met deze beleidsaanpassing komt er ook concurrentie tussen de platformbedrijven, waarbij sommige beter zijn dan andere in het voorspellen en regisseren van chauffeurs naar de juiste locaties, of sommige beter in het ontwerpen van gebruiksvriendelijke apps en betalingssystemen. De platforms zullen dus concurreren op kwaliteit en op hun aandeel in de marge (de wig tussen de prijs van de dienstverlening tussen koper en verkoper). Hoewel het voor een bepaalde locatie moeilijk kan zijn om zo'n systeem op eigen houtje op te zetten wanneer ze geconfronteerd worden met grote internationale platforms en hun advocaten, zou een consortium van steden in staat moeten zijn om de beleidsuitdaging aan te gaan.

Als het platform geen lokale regelgevende instantie kent, is een EU-brede aanpak nodig. Op basis van het GDPR moet ervoor worden gezorgd dat de platforms hun historische gegevens op niet-discriminerende wijze toegankelijk maken aan anderen. Het vinden van een wettelijke route om een open protocol voor de uitwisseling van berichten tussen koper en verkoper op het platform af te dwingen, kan een grotere uitdaging zijn, maar is een noodzakelijk onderdeel van de beleidsoplossing.

Een platform-type waarbij het ingewikkelder is om goede regelgeving te ontwikkelen is de zogenaamde tweezijdige markt. In deze markten handelen kopers en verkopers niet rechtstreeks met elkaar, maar hebben beide partijen interactie met het platform. Op zo’n platform verkopen consumenten hun aandacht (eyeballs) aan het platform in ruil voor inhoud, zoals nieuws, entertainment of andere informatie, terwijl bedrijven hun advertenties willen plaatsen (ze kopen eyeballs) in ruil voor geld dat ze aan het platform geven. Dergelijke markten bestaan al meer dan een eeuw, in de vorm van kranten, radio en televisie met reclame. Wat nieuw is, is dat het platform nu historische transactiegegevens kan verzamelen van beide kanten van de markt. De enorme toename van (het aandeel van) de reclame-inkomsten die naar deze platformen vloeien, bewijst de efficiëntie van hun bedrijfsvoering ten opzichte van de oude media. Soortgelijke martverstoringen vinden plaats in andere platforms die toegang hebben tot privé-gegevens, zoals internet-verbonden huishoudelijke apparaten of mobiele-gebaseerde betalingsverwerkers.

Op deze markten is er een wisselwerking tussen de kwestie van privacy en de kwestie van de (eigendom van) de economische waarde van historische transactiegegevens. Het GDPR werd vooral ontwikkeld wegens privacy en ging niet rechtstreeks in op de toekomstige verdeling van de economische waarde van gegevens van transacties tussen de drie betrokken partijen. Oplossingen zijn op het ogenblik niet direct voorhanden, maar sommige recente beleidsmaatregelen kunnen in de goede richting wijzen. In de financiële sector biedt de EU-betalingsdienstenrichtlijn (PSD2) bankklanten de mogelijkheid om derden toegang te verlenen tot historische betalingsinformatie, waardoor het monopolie van de banken op deze informatie wordt doorbroken. Een soortgelijke benadering van andere waardevolle gegevensopslag zou kunnen worden overwogen. Een andere mogelijkheid is het toestaan van "microbetaling"-contracten, zodat een consument die gebruik maakt van een dienst dat gegevens verzamelt, een (kleine) prijs kan vragen voor het toekomstige gebruik van deze gegevens. Hoewel de betalingsstromen voor een individu klein kunnen zijn, zullen de economische rents die door platforms met marktmacht worden geïnd, aanzienlijk worden verlaagd.

Om te sluiten kijken we naar belastingontwijking van technologiebedrijven. Bedrijven met veel immateriële activa kunnen concurrentievoordeel behalen door geografisch te ‘shoppen’ voor regelgevende en fiscale autoriteiten. Omdat verkoop, arbeid, kapitaal, en immateriële activa niet langer op hetzelfde moment op dezelfde locatie hoeven te zijn, kunnen eigenaren van de immateriële activa met middelen schuiven om er voordeel uit te halen, bijvoorbeeld door arbeid in lage-loon landen te plaatsen, of door investeringen te financieren via een locatie met lage belastingen op financieringsactiviteiten. Een beleidsrichting is om belastingen niet langer te baseren op de locatie van de productie maar op het aandeel van de locatie in de wereldwijde verkoop.

REFERENTIES

Acemoglu, D., & Autor, D. (2011). Chapter 12 - Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings. In *Handbook of Labor Economics*: *Vol.* *Volume 4, Part B* (pp. 1043–1171). Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169721811024105>

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). *Artificial Intelligence, Automation and Work,* NBER Working Paper No. 24196. <https://doi.org/10.3386/w24196>

Aghion, P., Jones, B. F., & Jones, C. I. (2017). *Artificial Intelligence and Economic Growth,* NBER Working Paper No. 23928. <https://doi.org/10.3386/w23928>

Agrawal, A., Gans, J. S., & Goldfarb, A. (2019a). Prediction, Judgment, and Complexity: A Theory of Decision Making and Artificial Intelligence. In *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. University of Chicago Press/NBER.

Agrawal, A. K., Gans, J., & Goldfarb, A. (2019b). *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. Retrieved from <https://www.nber.org/chapters/c14005>

Akcigit, U., & Ates, S. T. (2019a). *Ten Facts on Declining Business Dynamism and Lessons from Endogenous Growth Theory,* NBER Working Paper No. 25755. <https://doi.org/10.3386/w25755>

Athey, S. (2019). The Impact of Machine Learning on Economics. In *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. University of Chicago Press/NBER.

Autor, D., Dorn, D., Katz, L. F., Patterson, C., & Van Reenen, J. (2017). Concentrating on the Fall of the Labor Share. *American Economic Review*, *107*(5), 180–185. <https://doi.org/10.1257/aer.p20171102>

Baltrušaitis, T., Ahuja, C., & Morency, L. (2019). Multimodal Machine Learning: A Survey and Taxonomy. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *41*(2), 423–443. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2018.2798607>

Bartelsman, E. J., (forthcoming) From New Technology to Aggregate Productivity, DG ECFIN Discussion Papers, Brussels.

Bartelsman, E. J., Gautier, P. A., & De Wind, J. (2016). Employment Protection, Technology Choice, and Worker Allocation. *International Economic Review*, *57*(3), 787–826. <https://doi.org/10.1111/iere.12176>

Bartelsman, E. J., Hagsten, E., & Polder, M. (2017). Micro moments database for cross-country analysis of ICT, innovation, and economic outcomes. *Journal of Economics and Management Strategy*. <http://dx.doi.org/10.1111/jems.12256>

Bartelsman, E., Lopez-Garcia, P., & Presidente, G. (2018). *Cyclical and Stuctural Variation in Resource Reallocation: Evidence for Europe*. <http://papers.tinbergen.nl/18057.pdf>

Bessen, J. (2018). *AI and Jobs: The role of demand,* NBER Working Paper No. 24235. <https://doi.org/10.3386/w24235>

Bessen, J., Goos, M., Salomons, A., & van den Berge, W. (2019). *Automatic Reaction: What happens to workers at firms that automate?* CPB Netherlands.

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2011). *Race Against The Machine: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy*. Digital Frontier Press.

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies* (1 edition). W. W. Norton & Company.

Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2017). *Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics,* NBER Working Paper No. 24001. <https://doi.org/10.3386/w24001>

Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2018). *The Productivity J-Curve: How Intangibles Complement General Purpose Technologies,* NBER Working Paper No. 25148. <https://doi.org/10.3386/w25148>

Cockburn, I. M., Henderson, R., & Stern, S. (2018). *The Impact of Artificial Intelligence on Innovation,* NBER Working Paper No. 24449. <https://doi.org/10.3386/w24449>

Coyle, D. (2017). *Do-it-Yourself Digital: The Production Boundary and the Productivity Puzzle* (SSRN Scholarly Paper No. ID 2986725). Retrieved from Social Science Research Network website: [https://papers.ssrn.com/abstract=2986725](https://papers.ssrn.com/abstract%3D2986725)

Creswell, A., White, T., Dumoulin, V., Arulkumaran, K., Sengupta, B., & Bharath, A. A. (2018). Generative Adversarial Networks: An Overview. *IEEE Signal Processing Magazine*, *35*(1), 53–65. <https://doi.org/10.1109/MSP.2017.2765202>

Deng, L. (2018). Artificial Intelligence in the Rising Wave of Deep Learning: The Historical Path and Future Outlook [Perspectives]. *IEEE Signal Processing Magazine*, *35*(1), 180–177. <https://doi.org/10.1109/MSP.2017.2762725>

Fazeli, N., Oller, M., Wu, J., Wu, Z., Tenenbaum, J. B., & Rodriguez, A. (2019). See, feel, act: Hierarchical learning for complex manipulation skills with multisensory fusion. *Science Robotics*, *4*(26), eaav3123. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aav3123>

Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, *114*, 254–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>

Goldin, C., & Katz, L. F. (1998). The Origins of Technology-Skill Complementarity. *The Quarterly Journal of Economics*, *113*(3), 693–732. <https://doi.org/10.1162/003355398555720>

Gordon, R. (2016). *The rise and fall of American growth: The US standard of living since the civil war*. Princeton University Press.

Gutiérrez, G., & Philippon, T. (2016). *Investment-less Growth: An Empirical Investigation,* NBER Working Paper No. 22897. <https://doi.org/10.3386/w22897>

Gutiérrez, G., & Philippon, T. (2017). *Declining Competition and Investment in the U.S.,* NBER Working Paper No. 23583. <https://doi.org/10.3386/w23583>

Heckman, J. J. (2018). *The Race Between Demand and Supply: Tinbergen’s Pioneering Studies of Earnings Inequality,* NBER Working Paper No. 25415. <https://doi.org/10.3386/w25415>

Hopenhayn, H. A. (1992). Entry, Exit, and firm Dynamics in Long Run Equilibrium. *Econometrica*, *60*(5), 1127–1150. <https://doi.org/10.2307/2951541>

Jones, C. I., & Romer, P. M. (2010). The New Kaldor Facts: Ideas, Institutions, Population, and Human Capital. *American Economic Journal: Macroeconomics*, *2*(1), 224–245. <https://doi.org/10.1257/mac.2.1.224>

Kaldor, N. (1961). Capital Accumulation and Economic Growth. In F. A. Lutz & D. C. Hague (Eds.), *The Theory of Capital: Proceedings of a Conference held by the International Economic Association* (pp. 177–222). <https://doi.org/10.1007/978-1-349-08452-4_10>

Karabarbounis, L., & Neiman, B. (2014). The Global Decline of the Labor Share. *The Quarterly Journal of Economics*, *129*(1), 61–103. <https://doi.org/10.1093/qje/qjt032>

Loecker, J. D., & Eeckhout, J. (2017). *The Rise of Market Power and the Macroeconomic Implications,* NBER Working Paper No. 23687. <https://doi.org/10.3386/w23687>

McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2018). *Machine, Platform, Crowd: Harnassing our Digital Future*. W. W. Norton & Company.

McKinsey & Company. (2013). *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. Retrieved from <http://www.mckinsey.com/business-functions/business-technology/our-insights/disruptive-technologies>

Minar, M. R., & Naher, J. (2018). Recent Advances in Deep Learning: An Overview. *ArXiv:1807.08169 [Cs, Stat]*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24831.10403>

OECD. (2019a). *OECD Compendium of Productivity Indicators 2019*. Retrieved from <https://doi.org/10.1787/b2774f97-en>

OECD. (2019b). *OECD Employment Outlook 2019*. Retrieved from <https://doi-org.vu-nl.idm.oclc.org/10.1787/9ee00155-en>

O’Mahony, M., & Timmer, M. P. (2009). Output, Input and Productivity Measures at the Industry Level: The EU KLEMS Database\*. *The Economic Journal*, *119*(538), F374–F403. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2009.02280.x>

Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *The Journal of Political Economy*, *98*(5), S71–S102.

Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, *70*(1), 65–94.

Trajtenberg, M. (2018). *AI as the next GPT: A Political-Economy Perspective*, NBER Working Paper No. 24245. <https://doi.org/10.3386/w24245>