



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Effecten van ICT investeringen op productiviteit

Tobias Collas

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting
accountancy, financiering en fiscaliteit

PROMOTOR :

Prof. dr. Mark VANCAUTEREN



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt

Campus Hasselt:

Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt

Campus Diepenbeek:

Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2024
2025



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Effecten van ICT investeringen op productiviteit

Tobias Collas

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting accountancy, financiering en fiscaliteit

PROMOTOR :

Prof. dr. Mark VANCAUTEREN

Voorwoord

Met grote trots stel ik deze masterproef voor als afsluiting van mijn studie. Het was een intensief, leerzaam en vaak ook fascinerend proces waarin ik bestudeerde hoe ICT-investeringen verband houden met de productiviteit in Belgische ondernemingen.

Ik wil enkele mensen bedanken die een cruciale rol hebben gespeeld in de reis. Ik ben mijn promotor, Professor Dr. Mark Vancauteran, bijzonder dankbaar voor zijn ondersteuning, heldere inzichten en aanmoediging. Zijn opmerkingen hebben deze thesis daadwerkelijk versterkt.

Daarnaast wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor hun geduld, ondersteuning en begrip, vooral in de drukke en moeilijker tijden.

Deze scriptie markeert zowel het einde van mijn studie als het begin van een nieuw hoofdstuk. Ik kijk ernaar uit om met alles wat ik geleerd heb verder te groeien in mijn professionele leven.

Tobias Collas

4 Juni Diepenbeek

Inhoudstabel

Voorwoord.....	1
Inleiding	3
Probleemstelling.....	4
Literatuurstudie.....	5
Begrippen: Productiviteit en ICT	5
Productiviteit	5
ICT-investeringen.....	8
Verschillen tussen MKB's en MNO's.....	11
Sectoranalyse	15
Theoretisch kader.....	23
Hypotheseontwikkeling	28
Methodologie	30
Resultaten.....	35
Beschrijvende statistieken	35
Hypothese 1: Direct effect van ICT-investeringen op de productiviteit.....	37
Hypothese 2: Sterker ICT-effect bij MNO's (ICT x MNE interactie)	40
Hypothese 3: Mediërende rol van bedrijfsgrootte	42
Behandeling van ontbrekende waarden en steekproefkarakteristieken	45
Aanvullende analyses en robuustheidscontroles.....	46
Discussie	52
Vergelijking met bestaande literatuur	53
Methodologische reflecties	54
Implicaties voor theorie en praktijk.....	56
Suggesties voor toekomstig onderzoek	57
Conclusie.....	59
Referentielijst	60
Bijlage	63

Inleiding

Digitalisering heeft de manier waarop bedrijven werken fundamenteel veranderd. ICT is al lang niet meer alleen ondersteunend, maar speelt een centrale rol in hoe ondernemingen efficiënter werken, sneller innoveren en hun concurrentiepositie versterken. Tegelijk is de relatie tussen ICT en productiviteit allesbehalve eenvoudig.

Veel studies op macroniveau tonen een positief verband tussen digitalisering en economische groei. Maar zodra je inzoomt op individuele bedrijven, sectoren of landen, blijkt dat effect sterk uiteen te lopen (Brynjolfsson & McElheran, 2016; Bloom, Sadun & Van Reenen, 2012). Vooral het verschil tussen kleine en middelgrote ondernemingen (kmo's) en grote multinationals valt op: die laatste groep lijkt systematisch beter in staat om ICT-investeringen te vertalen naar tastbare productiviteitswinst.

Dat roept vragen op. Wanneer werkt ICT echt en wat zijn de voorwaarden daarvoor? Onderzoek wijst onder meer op schaalvoordelen, complementariteiten met andere processen en de organisatorische capaciteit van een bedrijf (Gal et al., 2019; Bresnahan et al., 2002). Ook de sector maakt verschil: kennisintensieve diensten zoals de financiële sector halen gemiddeld meer uit ICT dan bijvoorbeeld arbeidsintensievere sectoren zoals horeca of landbouw (Van Leeuwen & Van der Wiel, 2003). Het beeld is dus genuanceerd: ICT is geen universele oplossing, maar een technologie waarvan de impact sterk afhangt van de context.

België is in dit opzicht een interessante casus. Het heeft een diverse bedrijvenstructuur met een grote kmo-basis en investeert via initiatieven zoals 'Digital Belgium' actief in digitale transformatie. Bovendien is er toegang tot gedetailleerde microdata, wat toelaat om het effect van ICT-investeringen op bedrijfsresultaten grondig te analyseren.

In deze masterproef onderzoek ik hoe de impact van ICT-investeringen op arbeidsproductiviteit verschilt tussen kmo's en multinationals in België. Het doel is om te begrijpen onder welke omstandigheden ICT echt bijdraagt aan productiviteit en om inzichten te bieden die ook beleidsmakers kunnen helpen in het ondersteunen van digitale ontwikkeling, zeker bij kleinere ondernemingen.

Probleemstelling

ICT wordt wereldwijd gezien als een belangrijke motor achter economische groei, innovatie en productiviteit. Sinds computers en internet in de jaren 80 en 90 hun intrede deden, is er veel veranderd. Wat toen begon als een hulpmiddel om bepaalde processen sneller of efficiënter te maken, is nu een vast onderdeel van de bedrijfsstrategie geworden (Brynjolfsson, 1993).

Toch is het effect van ICT op productiviteit niet altijd even duidelijk. Bedrijven investeren steeds meer in technologie, maar de productiviteitscijfers stijgen niet altijd mee. Die kloof staat bekend als de productiviteitsparadox. Er zijn verschillende verklaringen voor: soms duurt het even voor digitale investeringen rendement opleveren, soms worden systemen slecht geïmplementeerd en vaak worden investeringen in technologie niet ondersteund door andere noodzakelijke veranderingen, zoals opleiding of interne organisatie (Polák, 2017).

Uit recent onderzoek blijkt dat het rendement van ICT sterk afhangt van de omstandigheden. De grootte van een bedrijf, de sector waarin het actief is en de mate waarin het klaar is om zich aan te passen, maken een groot verschil (Doraszelski & Jaumandreu, 2013). Grote bedrijven, zoals multinationals, hebben meer slagkracht: ze kunnen technologie makkelijker op schaal inzetten en integreren. Kleine en middelgrote ondernemingen (mkb) hebben het vaak moeilijker. Daar blijven de productiviteitswinsten van digitalisering vaak beperkt.

Ook tussen sectoren zie je grote verschillen. In sectoren waar kennis centraal staat, zoals financiële dienstverlening of de ICT-sector zelf, wordt technologie sneller en effectiever ingezet. In sectoren als landbouw of traditionele industrie gaat het trager en is de winst minder zichtbaar (Van Leeuwen & Van der Wiel, 2003). Kortom: digitalisering levert niet overal dezelfde resultaten op. Het hangt af van waar en hoe technologie wordt ingezet.

De situatie in Nederland laat dat goed zien. Nederland loopt digitaal voorop. In 2021 ging 17% van alle bedrijfsinvesteringen naar ICT, tegenover een OESO-gemiddelde van 10% (Polder et al., 2023). Toch is de productiviteitsgroei afgevlakt. Volgens cijfers van Rabobank droeg ICT rond 2000 nog 0,6 procentpunt bij aan de jaarlijkse productiviteitsgroei. Rond 2015 was dat effect nagenoeg verdwenen (Rabobank, 2023). Vooral mkb's slagen er minder goed in om digitale investeringen om te zetten in concrete resultaten. Grote bedrijven profiteren meer, dankzij hun schaal, middelen en ervaring (Gal et al., 2019; Brynjolfsson & McElheran, 2016).

Wat daar duidelijk uit blijkt: ICT werkt pas echt goed als het onderdeel is van een bredere aanpak. Alleen investeren in technologie volstaat niet. Bedrijven die ook investeren in opleiding, innovatie en organisatie, halen veel meer uit hun digitale projecten (Bresnahan et al., 2002; Bloom et al., 2012). Brynjolfsson et al. (2021) tonen aan dat zulke bedrijven tot 30% meer productiviteitswinst boeken dan bedrijven die alleen in technologie investeren. Maar juist dat is voor kleinere bedrijven vaak moeilijk.

Ze hebben minder middelen, minder tijd en vaak ook minder gespecialiseerde kennis om alles tegelijk aan te pakken (Brynjolfsson & McElheran, 2016; Gal et al., 2019).

Samenvattend is het belang van dit onderzoek tweeledig. Ten eerste onderstreept het de economische relevantie van ICT-investeringen: ondanks de paradox zijn digitale technologieën onmisbaar om concurrentievermogen te behouden in een steeds meer gedigitaliseerde wereld. Ten tweede wordt een belangrijke academische gap aangepakt: er is behoefte aan inzicht waarom de productiviteitsimpact van ICT zo sterk verschilt tussen contexten. Deze literatuurstudie heeft tot doel de factoren te identificeren die de variabiliteit in ICT-productiviteit verklaren. Daarbij wordt gekeken naar verschillen tussen mkb-bedrijven en multinationals, sectorale kenmerken en de rol van complementariteiten. Het onderzoek draagt zo bij aan een beter begrip van de voorwaarden waaronder ICT effectief kan worden ingezet voor productiviteitsverbetering en formuleert hypothesen die getoetst kunnen worden in verder empirisch onderzoek.

Literatuurstudie

Begrippen: Productiviteit en ICT

Productiviteit

Productiviteit is een basisbegrip in de economie. Het geeft aan hoe efficiënt middelen zoals arbeid en kapitaal worden ingezet om output te produceren. Meestal wordt daarbij een onderscheid gemaakt tussen arbeidsproductiviteit, kapitaalproductiviteit en totale factorproductiviteit (TFP).

Arbeidsproductiviteit gaat over hoeveel toegevoegde waarde of productie er wordt gerealiseerd per werknemer of per gewerkt uur. Als dat cijfer stijgt, betekent dat werknemers in dezelfde tijd meer output genereren. Kapitaalproductiviteit kijkt naar de output per eenheid kapitaal, bijvoorbeeld per machine of per euro aan investeringen. Beide maten focussen op één factor en houden de andere constant (Polder, Limpens, Vancauteren & Visser, 2023). Ze laten dus elk een deel van het verhaal zien. Een bedrijf kan bijvoorbeeld een hoge arbeidsproductiviteit hebben door intensief gebruik van machines, terwijl de kapitaalproductiviteit dan weer laag is of omgekeerd.

Totale factorproductiviteit bekijkt het bredere plaatje. TFP meet hoe goed arbeid en kapitaal samen worden benut. Het wordt vaak berekend als de rest van de groeicijfers, nadat de invloed van arbeid en kapitaal eruit is gehaald. Dat 'residu' weerspiegelt dan technologische vooruitgang, betere organisatie, schaalvoordelen of andere verbeteringen die niet voortkomen uit meer input (Polder et al., 2023;

Syverson, 2011). Als TFP stijgt, betekent dat dat je met dezelfde hoeveelheid arbeid en kapitaal méér produceert bijvoorbeeld door slimmer te werken of nieuwe technologieën in te zetten.

TFP meten is allesbehalve eenvoudig. Van Beveren (2012) bespreekt verschillende benaderingen en wijst op obstakels zoals endogeniteit bedrijven die productiever zijn investeren vaak ook meer en grote verschillen tussen sectoren. Veelgebruikte methodes zijn groeirekeningen op macro-niveau en productiefrentier-technieken op bedrijfsniveau. Bekende voorbeelden zijn de klassieke Solow-residumethode, of meer geavanceerde technieken zoals Olley en Pakes (1996) en Levinsohn en Petrin (2003). Elke methode vereist zorgvuldige afwegingen over aannames en data. Het correct meten van productiviteit blijft dus een methodologische uitdaging.

Meetmethodes en sectorverschillen: Productiviteit kan worden gemeten op verschillende aggregatieniveaus: van individuele werknemers en machines tot bedrijven, sectoren en hele economieën. De meting hangt vaak af van beschikbare data en doelen. Op macroniveau wordt arbeidsproductiviteit bijvoorbeeld berekend als BBP gedeeld door totaal aantal uren, terwijl op mesoniveau binnen een sector output per werknemer een indicatie geeft van de sectorale efficiëntie. Er moet rekening gehouden worden met *kwaliteitsaanpassingen* (bijvoorbeeld hogere educatie van werknemers leidt tot hogere output) en *prijsindices* (voor reële output). Sectorale verschillen spelen een grote rol: in kapitaalintensieve sectoren zoals de petrochemie of hightech industrie ligt de arbeidsproductiviteit doorgaans hoog, aangezien relatief weinig arbeiders met behulp van veel kapitaal grote output genereren. In arbeidsintensieve dienstensectoren (zoals horeca of persoonlijke diensten) is de gemeten arbeidsproductiviteit vaak lager (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). Dit hoeft echter niet te betekenen dat werknemers daar minder hard werken; vaak is de aard van diensten zodanig dat automatisering en schaalvoordelen lastiger te realiseren zijn (denk aan onderwijs of zorg, waar menselijke interactie cruciaal blijft). Deze verschillen staan bekend als onder meer de effecten van de zogenaamde *Wet van Baumol*, waarbij sectoren met weinig productiviteitsgroei relatief duurder worden.

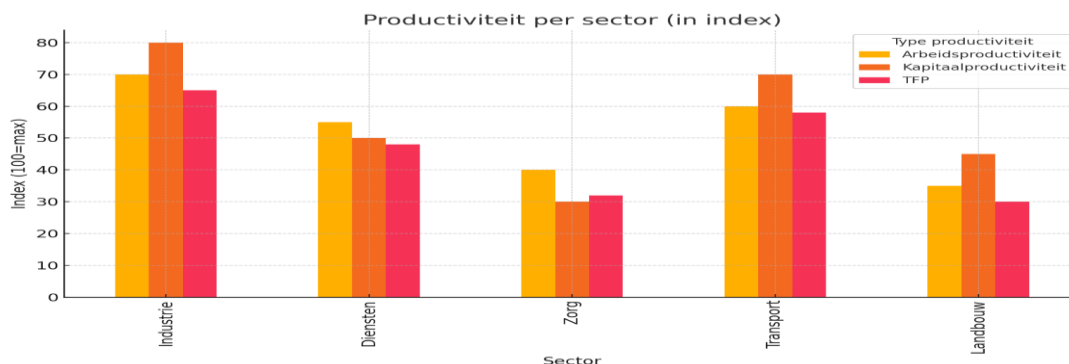
Daarnaast bestaan er zelfs *binnen* sectoren opvallende productiviteitsverschillen tussen bedrijven. Empirisch onderzoek toont aan dat in vrijwel elke branche grote en persistente verschillen in productiviteit bestaan tussen bedrijven die ogenschijnlijk vergelijkbare producten maken (Syverson, 2011). (Syverson, 2011) documenteert bijvoorbeeld dat de meest productieve bedrijven een twee- tot driemaal hogere TFP hebben dan de minst productieve in dezelfde industrie. Zulke verschillen kunnen voortkomen uit uiteenlopende productietechnieken, managementkwaliteit, schaalgrootte, innovatiegraad en inzet van technologie. Bedrijven hebben tot op zekere hoogte controle over interne factoren zoals procesinnovaties en organisatie (de *interne productiefactoren*), maar ook externe omgevingsfactoren (concurrentie-intensiteit, regulering, toeleveringsketens) bepalen mede de productiviteit (Syverson, 2011). Dit verklaart waarom het verhogen van productiviteit geen universeel recept kent; context doet ertoe.

Belang en trends: Productiviteitsgroei is al jaren een van de sleutels tot economische vooruitgang. Als je erin slaagt om met dezelfde mensen telkens meer te produceren, dan kan je lonen laten stijgen

zonder dat alles duurder wordt. En het helpt natuurlijk ook om als land sterker te staan in de internationale concurrentie (Polder, Limpens, Vancauteren & Visser, 2023). In de tweede helft van de vorige eeuw was dat ook gewoon zichtbaar. Veel economische groei in rijke landen kwam simpelweg doordat bedrijven en sectoren efficiënter werden. In Nederland bijvoorbeeld speelde de groei van de totale factorproductiviteit TFP tussen 1995 en 2005 een stevige rol in de toename van de toegevoegde waarde (ABN AMRO, 2020).

Maar dat tempo is de laatste decennia vertraagd. En dat is vreemd, want tegelijk zijn de technologische sprongen, vooral dankzij ICT, juist indrukwekkend. Toch bleef de arbeidsproductiviteit in veel landen min of meer steken in de jaren 2000 en 2010 (Cette et al., 2016). Dat spanningsveld wordt vaak de productiviteitsparadox genoemd, of de Solow-paradox, naar de opmerking van Robert Solow dat je computers overal ziet behalve in de productiviteitscijfers (ABN AMRO, 2020). Bedrijven digitaliseerden volop in de jaren 80 en 90, maar de statistieken trokken nauwelijks aan (Roach, 1987; Brynjolfsson, 1993). Pas tegen het eind van de jaren 90 zag je een versnelling, vooral in sectoren waar ICT echt doorbrak, zoals de handel en financiële dienstverlening (Jorgenson et al., 2008; Cette et al., 2016). En toch, vandaag zitten we opnieuw in een rare situatie. Nederland investeert flink in digitale technologie, maar het effect op de arbeidsproductiviteit lijkt weg te gaan. Rond 2000 droegen ICT-investeringen nog ongeveer 0,6 procentpunt bij aan de groei. In 2015? Zo goed als niks meer (Brynjolfsson & McElheran, 2016; Cette et al., 2016).

Dat doet vermoeden dat er ergens iets hapert. Misschien ontbreekt het aan andere innovaties die samen met ICT moeten komen. Misschien worden nieuwe technologieën niet snel genoeg opgepikt, of blijven ze hangen bij een beperkt aantal bedrijven. Feit is: technologie alleen maakt het verschil niet. En dat brengt ons bij de kern van deze masterproef. Want waarom werkt digitalisering de ene keer wel en de andere keer niet? Waarom zien we productiviteitsgroei in de ene sector of het ene type bedrijf, maar blijft het elders stil? In wat volgt, probeer ik dat uit te zoeken. Met bijzondere aandacht voor het verschil tussen kleinere bedrijven (kmo's) en multinationals en tussen sectoren.



Figuur 1

Productiviteit per sector (index, 100 = max)

Eigen samenstelling op basis van Syverson (2011), Bartelsman en Doms (2000) en gegevens van NBB en CBS.

ICT-investeringen

Definitie en componenten: Als we het over ICT-investeringen hebben, bedoelen we alles wat bedrijven uitgeven aan digitale technologie om hun informatieverwerking, communicatie en automatisering te verbeteren. Vroeger ging dat vooral om hardware: computers, servers, netwerken, randapparatuur, telecominstallaties, noem maar op. Maar sinds de jaren 2000 is dat sterk veranderd. Tegenwoordig zit het zwaartepunt vooral in software en digitale diensten. Bedrijven investeren nu in systemen zoals ERP en CRM, databases, cloudoplossingen en datacenters. En daar blijft het niet bij. Steeds vaker gaat het ook over opkomende technologieën zoals kunstmatige intelligentie (AI), robotica en het Internet of Things dus sensoren en slimme apparaten die verbonden zijn met internet. Ook digitale infrastructuur zoals 5G hoort daar intussen bij. Wat vaak onderschat wordt, is dat het niet alleen om technologie zelf gaat. Een ICT-investering is pas effectief als je ook investeert in de mensen en processen eromheen. Denk aan training, cybersecurity en het herinrichten van werkprocessen. Die menselijke en organisatorische kant is minstens zo belangrijk (Bloom et al., 2012; Bresnahan et al., 2002). In rapporten wordt dat deel soms aangeduid als “intangible ICT investment” zaken zoals de opbouw van databanken, ontwikkeling van algoritmes of het versterken van digitale vaardigheden binnen een bedrijf (OECD, 2019). Kortom: ICT-investeringen gaan al lang niet meer alleen over het kopen van spullen. Het gaat over een brede mix van fysieke middelen én onzichtbare, maar cruciale onderdelen die zorgen dat digitalisering ook echt werkt.

General Purpose Technology (GPT): ICT is niet zomaar een handige tool, het wordt beschouwd als een zogeheten General Purpose Technology (GPT) een technologie die vergelijkbaar is met elektriciteit of de verbrandingsmotor (Bresnahan & Trajtenberg, 1995). Wat GPT's gemeen hebben, is dat ze de hele economie doordringen. Ze veranderen niet alleen hoe bedrijven werken, maar vragen ook om nieuwe structuren, vaardigheden en processen. Pas als die hele puzzel klopt, zie je op termijn echt winst in de productiviteit. Die omschakeling duurt vaak even. Volgens de GPT-theorie zie je in het begin vaak juist géén productiviteitsgroei, of zelfs een dip. Bedrijven moeten leren omgaan met de nieuwe technologie, investeren in training en uitzoeken hoe ze processen moeten aanpassen. Dat kost tijd en geld. Brynjolfsson, Rock en Syverson (2021) noemen dat het “productivity J-curve effect”: eerst gaan de kosten omhoog, terwijl de voordelen pas later voelbaar worden. Op het moment dat die extra inspanningen beginnen op te leveren en de technologie zich breed verspreidt, versnelt de productiviteitsgroei. Dat is het opwaartse stuk van de J-curve (Brynjolfsson, Rock & Syverson, 2021). Die cyclus helpt ook verklaren waarom we bij grote technologische innovaties telkens dezelfde paradox zien opduiken net zoals Robert Solow die ooit beschreef. Bij ICT zagen we dat in de jaren '80: bedrijven digitaliseerden volop, maar de productiviteit bleef achter. Pas eind jaren '90, toen het internet en bedrijfssoftware echt doordrongen in het dagelijks werk, kwam er een versnelling (Cette et al., 2016). En nu? Met de opkomst van AI lijkt het erop dat we opnieuw zo'n paradoxale fase ingaan: er wordt volop geïnvesteerd, maar de echte winst moet nog komen (Brynjolfsson, Rock & Syverson, 2021).

De moderne productiviteitsparadox: Inderdaad wijzen recente studies op een nieuwe clash tussen verwachting en statistiek bij de meest geavanceerde ICT, zoals kunstmatige intelligentie. Brynjolfsson, Rock en Syverson (2018) bespreken hoe AI als nieuwe GPT hoge verwachtingen wekt maar (nog) niet leidt tot gemeten productiviteitssprongen (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2018). Enerzijds verschijnen er indrukwekkende AI-toepassingen (machine learning, spraakherkenning, generatieve AI) die lokaal voor meer efficiëntie zorgen; anderzijds blijft op macro- en mesoniveau de productiviteitsgroei bescheiden. Mogelijke verklaringen zijn opnieuw de benodigde complementaire investeringen: bedrijven moeten AI-systemen trainen op eigen data, werknemers omscholen en veilige implementaties ontwikkelen, wat tijd en geld kost voordat productiviteitswinst gerealiseerd wordt (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2018). Bovendien is er het meetprobleem: veel digitale diensten en kwaliteitsverbeteringen worden niet goed in BBP-statistieken verwerkt (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2018). Denk aan gratis digitale platforms of verbeterde zoekalgoritmes ze verhogen wel het consumentenwelzijn en de outputkwaliteit, maar niet direct de gemeten output in euro's. Acemoglu et al. (2014) spraken in dit verband van de "Return of the Solow Paradox" toen zij opmerkten dat zelfs in de Amerikaanse maakindustrie rond 2010 ICT-innovaties niet duidelijk terug te zien waren in hogere productiviteitsgroei (Acemoglu, Autor, Dorn, Hanson, & Price, 2014). Het is dus mogelijk dat we opnieuw in het dal van een J-curve zitten waarbij de investeringen in AI en geavanceerde automatisering pas later tot versnelling leiden.

Meetproblemen van ICT-impact: Het kwantificeren van de impact van ICT-investeringen op productiviteit brengt enkele methodologische moeilijkheden met zich mee. Ten eerste is er de afbakening van ICT: bedrijven kopen bijvoorbeeld robots of softwarelicenties duidelijk ICT maar huren ook clouddiensten in of ontwikkelen eigen software in-house. In nationale rekeningen worden sommige van deze uitgaven als investering geboekt (kapitaalsvorming), andere als lopende kosten. Hierdoor kan onderschatting optreden van de werkelijke kapitaalinvesteringen in digitale technologie. Ten tweede is er het prijsindex-probleem: ICT hardware en software verbeteren kwalitatief zeer snel (denk aan Moore's Law voor chips). Indien de prijsindices dit niet volledig corrigeren voor kwaliteitsverbetering, lijkt het of de reële investeringen minder groeien dan het feitelijke vermogen van de technologie. Dit kan leiden tot onderschatting van outputgroei. Ten derde is de productiviteitstoename door ICT vaak indirect: ICT maakt nieuwe werkwijzen mogelijk (thuiswerken, just-in-time productie, data-gedreven marketing) die pas na reorganisatie tot efficiëntere productie leiden (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2021). Zonder inzicht in deze organisatorische aanpassingen, is het lastig om een causale link te leggen van ICT-uitgaven naar productiviteitscijfers. Veel vroege studies constateerden daarom weinig of geen positief effect van IT-investeringen op bedrijfsoutput, wat leidde tot scepsis (het "IT-doet-er-niet-toe" debat). Latere micro-econometrische analyses konden dankzij gedetailleerde data wel positieve rendementen aantonen vaak veel hoger dan intuïtief verwacht maar benadrukten dat deze rendementen alleen gerealiseerd worden in combinatie met complementaire investeringen in organisatie en menselijk kapitaal (Bloom et al., 2012; Bresnahan, Brynjolfsson, & Hitt, 2002).

Categorieën ICT-investeringen: Voor een goed begrip is het nuttig de belangrijkste categorieën van ICT-investeringen kort te schetsen en hun specifieke bijdrage aan productiviteit:

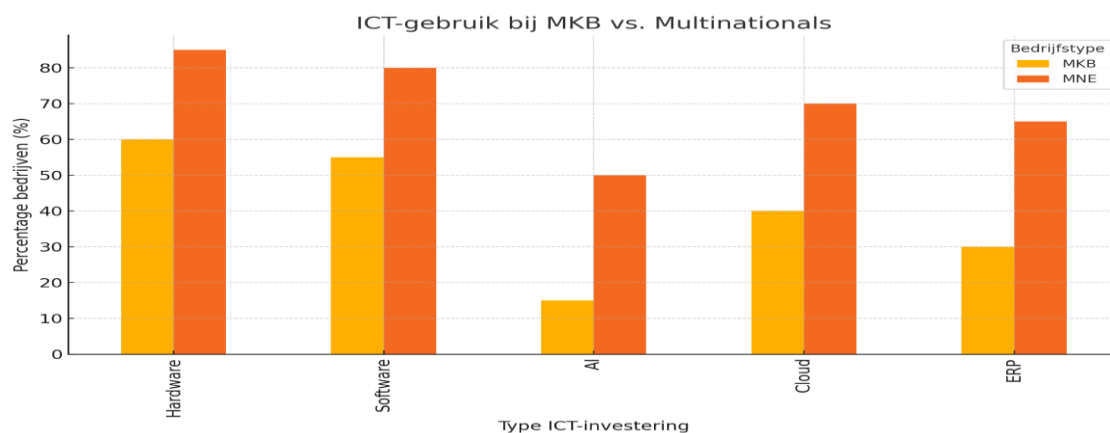
- **Hardware & infrastructuur:** Dit omvat computers, servers, netwerkkapparatuur, smartphones, etc. Investerings hierin leveren basisinfrastructuur voor digitalisering. Hardware alleen verhoogt de potentiële rekenkracht en connectiviteit, maar moet gepaard gaan met effectieve inzet. Bijvoorbeeld, snelle computers kunnen werk versnellen, maar alleen als de software en processen dat toelaten.
- **Software & data:** Software-investeringen (aankoop of ontwikkeling van applicaties) zijn tegenwoordig vaak bepalender voor productiviteit dan hardware. Een ERP-systeem kan bijvoorbeeld integratie van bedrijfsprocessen en realtime informatievoorziening mogelijk maken, wat tot aanzienlijke efficiëntiewinsten leidt (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). Data-analyse software en Business Intelligence tools stellen bedrijven in staat productiever te werken door beter geïnformeerde beslissingen (bv. voorraadoptimalisatie, gepersonaliseerde marketing). Tambe, Hitt en Brynjolfsson (2012) tonen aan dat bedrijven die extern veel informatie verzamelen en analyseren ("extroverted firms") innovatiever en productiever zijn. Dit illustreert hoe investering in data-analysecapaciteit een impact heeft op output via innovatie.
- **Communicatie & platforms:** Onder ICT valt ook de implementatie van communicatietools (e-mail, messaging, videoconferentie) en interne platforms (intranetten, samenwerkingssoftware). Deze investeringen verhogen vooral de transactie-efficiëntie binnen en buiten de organisatie. Ze verminderen coördinatiekosten en versnellen informatie-uitwisseling, wat volgens theorieën van o.a. Malone (1997) leidt tot plattere hiërarchieën en betere besluitvorming (Malone et al, 1987). De recente massale adoptie van telewerkfaciliteiten en cloudplatforms illustreert hoe communicatie-ICT de productiviteit kan ondersteunen door flexibel werken en 24/7 toegang tot systemen mogelijk te maken.
- **Kunstmatige intelligentie & automatisering:** Investerings in AI, machine learning en robotics zijn een snelgroeiend deel van ICT-uitgaven. Robots nemen repetitieve fysieke taken over, vooral in de industrie en AI-software automatiseert cognitieve taken (zoals voorspellen, classificeren). Acemoglu en Restrepo (2020) vinden dat de inzet van robots in de industrie de productiviteit significant verhoogt, al gaat dit soms gepaard met verdringing van arbeid (Acemoglu & Restrepo, 2020). De potentie van AI is groot van het automatisch afhandelen van klantvragen (chatbots) tot het optimaliseren van complexe planningen maar empirisch staat de diffusie nog in de kinderschoenen. Een recente studie in Spanje toont dat AI-adoptie gepaard gaat met hogere innovativiteit en productiviteit bij pionierende bedrijven (Calvino & Virgillito, 2019). Tegelijkertijd vergt AI een bepaalde schaal en expertise, waardoor grote bedrijven hier vooroplopen.

- Cloud computing & IT-outsourcing: Steeds vaker “investeren” bedrijven in ICT door gebruik te maken van clouddiensten (Infrastructure/Platform/Software as a Service) in plaats van zelf hardware en software aan te schaffen. Dit verlaagt drempels voor MKB om geavanceerde IT te gebruiken, omdat grote kapitaaluitgaven worden omgezet in variabele kosten per gebruik. Cloudinvesteringen kunnen de productiviteit verhogen door schaalvoordelen (de cloudprovider heeft ultra-efficiënte datacenters) en flexibiliteit (op- en afschalen naar behoefte). OECD-analyse laat zien dat toegang tot breedband en cloud sterk samenhangt met productiviteitswinsten, met name voor kleinere en minder productieve firma’s die via cloud geavanceerde tools kunnen inzetten (OECD, 2021).

Samenvattend vormen ICT-investeringen een divers palet aan hardware, software en nieuwe technologieën. Het effect van deze investeringen op productiviteit is positief in de meeste economische studies, maar de grootte van dat effect varieert sterk afhankelijk van wanneer en hoe de technologie wordt ingezet. De geschiedenis van de “productiviteitsparadox” leert dat er vaak sprake is van vertraging en noodzakelijke randvoorwaarden voordat ICT zich vertaalt in hogere efficiëntie (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2021).

Verschillen tussen MKB’s en MNO’s

De impact van ICT-investeringen op productiviteit blijkt in de literatuur niet uniform te zijn voor alle bedrijven. Een belangrijke differentierende factor is de omvang van het bedrijf. Hierbij gaat het zowel om absolute schaal (aantal werknemers, omzet) als om de mate van multinational-karakter (actief in meerdere landen). In deze sectie vergelijken we kleine en middelgrote ondernemingen (MKB) met grote ondernemingen/multinationals wat betreft ICT-gebruik en productiviteitsvoordelen. Verschillende theoretische en empirische argumenten wijzen op systematische verschillen tussen deze groepen.



Figuur 2

ICT-gebruik bij mkb versus multinationals (in % van bedrijven per type investering)

Eigen visualisatie op basis van gegevens en verhoudingen uit Polder, Limpens, Vancauteren en Visser (2023) en Gal et al. (2019). Laat zien dat multinationals gemiddeld verder staan in het gebruik van AI, ERP en cloudtoepassingen dan mkb's.

Structuur en schaalvoordelen: Grotere bedrijven hebben doorgaans een andere organisatiestructuur dan kleine. Multinationals opereren vaak met meerdere vestigingen, divisies en complexe hiërarchieën, maar kunnen daardoor ook schaalvoordelen behalen. ICT-investeringen schalen vaak goed: een keer een dure software-implementatie ontwikkelen kan over vele vestigingen worden uitgerold. Brynjolfsson et al. (2023) tonen aan dat hogere IT-intensiteit samenhangt met een grotere gemiddelde firm size en hogere concentratie in markten (Brynjolfsson, Collis, Kim, & McElheran, 2023). Hun resultaten suggereren dat ICT grote bedrijven in staat stelt hun activiteiten makkelijker te repliceren en uit te breiden over meerdere locaties, wat leidt tot een "scale without mass" fenomeen (Brynjolfsson, Collis, Kim, & McElheran, 2023). Met andere woorden: digitale technologie maakt het mogelijk om processen te standaardiseren en te centraliseren (denk aan een wereldwijd ERP-systeem of gedeelde data-analysehub), waardoor multinationals relatief meer outputgroei uit een extra ICT-euro halen dan een klein bedrijf zou kunnen. Daarnaast beschikken grote ondernemingen vaker over de kapitaalbuffers om omvangrijke ICT-projecten te financieren en de soms lange terugverdientijd te overbruggen. Bij MKB-bedrijven is kapitaal schaars; investeringen moeten snel renderen om verantwoord te zijn. Dit leidt tot terughoudendheid bij zeer innovatieve of omvangrijke ICT-projecten in het MKB, terwijl multinationals zich strategische langetermijninvesteringen kunnen permitteren.

Complementaire middelen en vaardigheden: Grote bedrijven hebben niet alleen meer financiële middelen, maar ook vaak meer ontwikkelde complementaire assets. Ze kunnen zich gespecialiseerde IT-teams permitteren, processen op maat laten herontwerpen en intensief trainen. Kleine bedrijven missen soms de gespecialiseerde IT-kennis in huis om de volle vruchten van bijvoorbeeld een geavanceerd softwaresysteem te plukken. Een indicatie hiervan is het verschil in het inhuren van ICT-specialisten: in Nederland had in 2022 zo'n 88% van de grote bedrijven (500 of meer werknemers) minstens één ICT-specialist in dienst, tegenover slechts ~18% van de kleinere bedrijven (10–20 werknemers) (Polder, Limpens, Vancauteren, & Visser, 2023). Dit enorme verschil illustreert de HR-beperkingen van MKB: beperkte toegang tot gespecialiseerde kennis bemoeilijkt het effectief implementeren van complexere ICT. Grote ondernemingen kunnen bovendien omvangrijke datasets genereren en benutten een belangrijk voordeel in het tijdperk van AI en data-analyses. Kleine bedrijven hebben vaak niet de schaal om big data analytics intern echt tot waarde te brengen, of ze moeten terugvallen op externe data en generieke oplossingen (Tambe et al., 2012).

Aan de andere kant zijn MKB-bedrijven niet per definitie gedoemd tot minder digitale impact. Ze kunnen zich onderscheiden door flexibiliteit en nichegerichtheid. Dankzij hun plattere structuur kunnen kleine bedrijven soms sneller beslissen en innovatieve technologieën agiler implementeren (geen lange interne procedures). Ook zijn er ICT-trends die juist in het voordeel van MKB werken: met

cloudcomputing en gebruiksklare software-as-a-service kunnen kleine bedrijven nu tools gebruiken die vroeger alleen voor grootkapitaal bereikbaar waren. Een voorbeeld is een kleine webshop die met beperkt budget toch geavanceerde e-commerceplatforms en online marketinganalytics inzet, wat een decennium geleden moeilijk was. Digitale platforms kunnen bovendien de markttoegang voor kleine bedrijven vergroten. Via online marktplaatsen of export via internet kunnen MKB'ers klanten wereldwijd bereiken zonder de fysieke distributienetwerken van een multinational. Dit verkleint schaalnadelen op het gebied van marketing en verkoop. Het Centraal Bureau voor de Statistiek constateert dan ook dat digitalisering voor het MKB de drempel naar internationale markten kan verlagen (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). Een mkb-bedrijf kan via e-commerce relatief eenvoudig exporteren, iets wat voorheen voorbehouden was aan grotere spelers met exportafdelingen.

Empirisch bewijs verschillen: Verschillende studies hebben expliciet gekeken naar de heterogene effecten van ICT op productiviteit naar bedrijfsomvang. Een recente internationale vergelijking door de Nationale Bank van België (NBB, 2023) onderzocht bedrijven in België, Nederland en Frankrijk. Daaruit blijkt dat zowel de directe impact van digitaliseringsgraad op productiviteit als het effect op exportprestatie verschilt tussen kleine en grote bedrijven (Backhaus & Schaff, 2022). Over het algemeen geldt dat grotere bedrijven vaker en intensiever ICT toepassen en dat hun productiviteit sterker samenhangt met digitalisering. Zo vinden Añón Higón en Bonvin (2022) dat de positieve relatie tussen digitaal intensief zijn en exportsucces het sterkst is bij grotere exporteurs en ook Syverson (2011) suggereert dat managementkwaliteit en schaal hand in hand gaan bij het benutten van technologie (Añón Higón & Bonvin, 2022; Syverson, 2011)..

In Nederland wijzen data van (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023) in dezelfde richting: in de meeste gevallen is het effect van digitalisering op prestaties (zoals exportkansen of productiviteit) sterker bij het grootbedrijf dan bij het MKB (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). Een concrete bevinding was bijvoorbeeld dat het gebruik van geavanceerde software (CRM/ERP) of data-analyse bij grote bedrijven gepaard ging met duidelijk hogere productiviteitscijfers, terwijl bij kleine bedrijven dat verband zwakker of afwezig was (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). Niet elke ICT-toepassing toont overigens zo'n interactie met firm size: voor basis-ICT als internettoegang of sociale media gebruik zijn de verschillen gering (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). Maar bij complexe toepassingen (e-sales, mobiele apps) bleken grote bedrijven een duidelijk grotere productiviteitswinst te halen (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). De literatuur suggereert dus dat "one size fits all" niet opgaat voor digitale transformatie grootte en multinationale reikwijdte fungeren als belangrijke moderator.

Oorzaken van de verschillen: Een belangrijke oorzaak van dit verschil is de reeds genoemde schaalvoordelen en replicabiliteit van ICT in grote organisaties. Daarnaast beschikken multinationals vaker over gestandaardiseerde processen over locaties heen; zodra ICT een procesverbetering oplevert, rolt men dit wereldwijd uit, wat de gemiddelde productiviteitswinst per bedrijf vergroot. MKB-bedrijven zijn vaker uniek in hun processen en kunnen een nieuwe technologie misschien maar op één of twee plekken toepassen. Bovendien speelt risicospreiding een rol: een multinational kan

experimenteren met nieuwe ICT in één divisie zonder het hele bedrijf in gevaar te brengen, terwijl voor een klein bedrijf een mislukte ICT-implementatie direct een grote hap uit de resources betekent. Grote firma's kunnen dus innovatiever met ICT omgaan (meer trial-and-error, wat uiteindelijk tot betere praktijk leidt), terwijl kleine voorzichtigheid betrachten.

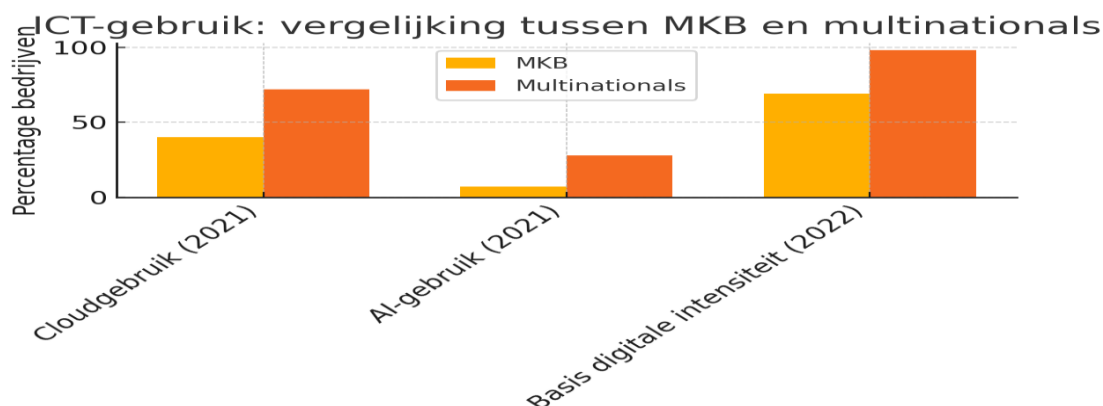
Ten slotte zijn er netwerk- en gegevens-effecten: Big data analyses, AI en geavanceerde logistieke systemen worden beter naarmate er meer data of schaal is. Denk aan machine learning een groot bedrijf heeft veel meer data om een algoritme te trainen (bijv. miljoenen klanttransacties), waardoor de voorspellende kracht toeneemt. Een klein bedrijf heeft die hoeveelheid data niet en zal dus minder direct profijt hebben van AI, tenzij het externe data betreft. Dit is een vorm van complementariteit tussen schaal en technologie. OECD-onderzoek bevestigt dat digitalisering bijdraagt aan een groeiende kloof tussen een paar zeer productieve, vaak grote bedrijven en de rest: de frontier firms gaan er sneller op vooruit mede dankzij technologie, terwijl de volgers (veelal MKB) achterblijven (Andrews, Criscuolo, & Gal, 2016).

Samenvattend is de consensus dat multinationals en grote bedrijven gemiddeld meer productiviteitsvoordeel halen uit ICT-investeringen dan MKB-bedrijven, hoewel uitzonderingen bestaan. De oorzaken liggen in schaal-, scope- en resourceverschillen. Dit betekent ook dat beleid ter bevordering van digitale adoptie in het MKB wellicht andere aandachtspunten heeft (bijv. vaardigheden vergroten, toegankelijkheid verbeteren) dan bij grote bedrijven.

Figuur 3

Verschillen in ICT-gebruik tussen mkb en multinationals (EU-data)

Eigen bewerking op basis van gegevens van de Europese Commissie (2022). Grote bedrijven maken aanzienlijk vaker gebruik van digitale technologieën zoals cloud en AI dan kleinere bedrijven. Vrijwel alle multinationals behalen een basisniveau van digitale intensiteit, terwijl bijna een derde van de mkb's nog een zeer laag digitaliseringsniveau heeft (European Commission, 2022).



Strategie en flexibiliteit: Multinationals zetten ICT vaak strategisch in om nieuwe markten aan te boren of hun wereldwijde waardeketen te optimaliseren. Hun grotere schaal vereist bovendien complexere IT-architecturen (bijv. geïntegreerde ERP- en CRM-systemen voor duizenden werknemers)

maar eenmaal op poten renderen die systemen ook op grote schaal (Brynjolfsson, Collis, Kim, & McElheran, 2023). Mkb-bedrijven zijn flexibeler en kunnen soms sneller beslissen over adoptie van een nieuwe tool, maar strategisch gezien richten zij ICT vaker op kortetermijn efficiëntiewinsten in plaats van radicale innovaties. Bovendien zorgt hun beperkte omvang ervoor dat ze risicomijdender zijn bij grote ICT-projecten de gevolgen van een mislukt IT-project kunnen voor een mkb immers nefast zijn, terwijl een multinational meer kan experimenteren. Dit verklaart waarom multinationals vaak als “early adopters” van technologie optreden en mkb als late adopters (Rogers, 2003; Dearing & Cox, 2018). In termen van Rogers’ diffusietheorie neemt het grootbedrijf doorgaans de rol van innovator op zich, terwijl kleinere bedrijven conservatiever zijn en wachten tot een technologie zich heeft bewezen (Rogers, 2003).

Empirische evidentie: Uit diverse bronnen komt een consistent beeld naar voren: de ICT-intensiteit én de productiviteit liggen bij grote ondernemingen hoger dan bij MKB’s. Zo zijn multinationals in België en Nederland vijf keer vaker werkgever van ICT-specialisten dan MKB’s, wat wijst op een veel hoger digitaliseringsniveau bij grote bedrijven (Eurostat, 2024). Bovendien suggereert onderzoek van de Nationale Bank van België dat digitalisering de internationale prestaties van bedrijven vooral bij grotere spelers verbetert de samenhang tussen ICT-gebruik en export/productiviteit is in de meeste gevallen sterker bij het grootbedrijf dan bij mkb (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). Tegelijk kan digitalisering voor mkb ook kansen bieden om hun schaalnadelen deels te overbruggen. Zo kan e-commerce of online platforms het voor kleine nichespelers gemakkelijker maken om een internationale markt te bereiken (Añon-Higon & Bonvin, 2023). Maar over het algemeen bevestigt de literatuur dat de opbrengsten van ICT-investeringen toenemen met de bedrijfsgrootte (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023).

Sectoranalyse

De impact van ICT op productiviteit manifesteert zich niet uniform over alle sectoren van de economie. Iedere sector heeft specifieke kenmerken denk aan productproces, mate van routine, behoefte aan informatie die bepalen hoe ICT-investeringen worden ingezet en wat hun effect is. In deze sectie bespreken we enkele belangrijke sectorale contexten: industriële sector, dienstensector, landbouw, gezondheidszorg en logistiek. We bekijken de digitaliseringsgraad in elke sector, het type ICT-toepassingen dat dominant is en het tempo waarmee innovaties worden geadopteerd.

Industrie (maakindustrie)

De industrie of maakindustrie is bij uitstek geschikt voor digitalisering. Het zijn kapitaalintensieve productieprocessen, vaak opgebouwd uit herhalende, voorspelbare handelingen. Dat maakt ze ideaal voor automatisering. Al sinds de jaren ’70 en ’80 denk aan de eerste golf van CNC-machines en

industriële robots investeert deze sector in technologie die productieprocessen aanstuurt. Die lijn heeft zich de voorbije decennia verder doorgetrokken richting "Industrie 4.0": slimme fabrieken waarin sensoren, robots, data-analyse en AI samen zorgen voor een efficiënte en flexibele werkomgeving.

De resultaten zijn zichtbaar. De industrie behoort al jaren tot de sectoren met de hoogste productiviteitsniveaus en ICT speelt daar een duidelijke rol in. Vooral robotisering is bepalend. Zo tonen cijfers van Acemoglu en Restrepo (2020) aan dat elke extra robot per duizend werknemers de arbeidsproductiviteit met gemiddeld 3% verhoogt een behoorlijk effect. Tegelijkertijd schuift automatisering ook het werkveld op. Sommige banen verdwijnen, maar er ontstaan er ook nieuwe, bijvoorbeeld in onderhoud, softwareontwikkeling of systeembeheer.

De digitaliseringsgraad in de industrie ligt sowieso hoog. Vrijwel alle productiebedrijven gebruiken digitale besturingssystemen en software zoals CAD/CAM. Ongeveer twee derde van de werknemers in de Nederlandse industrie werkt met een computer met internetverbinding (Polder, Limpens, Vancauteran & Visser, 2023). Dat lijkt misschien niet uitzonderlijk hoog, maar dat komt doordat veel taken op de werkvloer nog steeds handmatig zijn. Het gaat er vooral om dat de kernprocessen digitaal aangestuurd worden.

Sensoren en IoT zijn in veel bedrijven al ingeburgerd, vooral om machines op afstand te monitoren en onderhoud slim te plannen. In bepaalde subsectoren zoals de voedingsmiddelenindustrie en de bouwmaterialensector gebruikte in 2022 al 26 tot 29 procent van de bedrijven IoT-toepassingen (ABN AMRO, 2022a). Die worden onder andere ingezet om energieverbruik te monitoren, kwaliteitscontrole te verbeteren of productieprocessen te optimaliseren. Ook robotica is op veel assemblagelijnen standaard en 3D-printing wordt steeds vaker gebruikt voor het maken van prototypes of complexe onderdelen.

Wat opvalt in sectoranalyses, is dat ICT-investeringen in de industrie meestal leiden tot lagere kosten en betere kwaliteit. Productie wordt consistent, foutenmarges dalen en de kostprijs per eenheid gaat omlaag. Maar er zit ook een grens aan. Eens een proces volledig geautomatiseerd is, worden verdere productiviteitswinsten lastiger. Dat zien we bijvoorbeeld na 2010: ondanks verdere digitalisering vertraagde de productiviteitsgroei, mogelijk omdat de grootste efficiëntieslagen al gemaakt waren (Acemoglu et al., 2014).

Nieuwe technologie kan die stilstand misschien weer doorbreken. Denk aan AI die productieprocessen optimaliseert via machine learning, of digitale tweelingen virtuele kopieën van fabrieken die bedrijven helpen om efficiënter te plannen en testen. Zulke toepassingen zitten nog in de experimentele fase, maar het potentieel is groot.

Kortom: de industrie is een digitale koploper, vooral in operationele zin. Het verschil tussen mkb en grote bedrijven zit hier vooral in schaal. Grote spelers automatiseren alles tot in detail, maar ook kleinere productiebedrijven investeren fors vaak omdat ze anders gewoon niet mee kunnen. De echte uitdaging ligt nu in het koppelen van al die systemen én in het vinden van mensen die ermee kunnen werken.

Diensten (zakelijke dienstverlening, financiële sector, etc.)

De dienstensector is heterogeen, variërend van bankwezen en IT-dienstverlening tot horeca en transport. Over het algemeen was de dienstenproductiviteit traditioneel lager dan die van de industrie, deels omdat automatisering complexer was bij interactieve of kennisintensieve diensten. ICT heeft hier sinds de jaren '90 een transformatie teweeggebracht, waarbij vooral informatie-intensieve diensten enorme productiviteitswinsten boekten. In de financiële sector bijvoorbeeld leidde de introductie van ICT tot een hoge mate van straight-through processing (automatische verwerking zonder menselijke tussenkomst) en digitale distributie (internetbankieren, sneller verwerken van transacties). Vandaag de dag is de financiële dienstverlening vrijwel volledig digitaal: 100% van de werknemers in Nederlandse banken gebruikt computers met internet (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). Dit vertaalt zich in hoge arbeidsproductiviteit bankpersoneel kan veel meer klanten bedienen dan voorheen, dankzij internetportalen en automatisering van administratieve processen.

In de bredere zakelijke dienstverlening (consultancy, juridische diensten, accountancy) wordt ICT vooral ingezet om kenniswerk te ondersteunen. Denk aan documentmanagement, data-analyse, kennisdatabases en communicatietools voor samenwerken op afstand. Deze sectoren tonen gemengde productiviteitscijfers: aan de ene kant efficiënter werken door snelle informatie-uitwisseling, aan de andere kant wordt veel winst tenietgedaan door toegenomen complexiteit en documentatie-eisen. Niettemin is digitalisering ook hier onmisbaar geworden het concept van het "papierloze kantoor" is in veel professionele diensten realiteit. Een belangrijke rol speelt AI nu in het automatiseren van deelaspecten (bijv. contracten screenen met NLP-algoritmen, of routinematige boekhoudtaken automatisch uitvoeren). Met andere woorden, bedrijven in de diensten die AI integreren in hun bedrijfsmodel (en dus hun dienstenportfolio vernieuwen) zien meetbare productiviteitsvoordelen.

De handel (groothandel en detailhandel) is een interessant subdomein: hier hebben ICT-investeringen, zoals kassasystemen, voorraadbeheerssoftware en e-commerce, de productiviteit flink verhoogd. Denk aan de opkomst van barcodes en scanners: studies in de VS (zoals door McKinsey) constateerden dat de retailsector in de late jaren '90 een productivity jump kende doordat Wal-Mart en andere ketens IT gebruikten voor logistieke optimalisatie. In Nederland zien we soortgelijk: de groothandel en detailhandel hebben inmiddels flinke digitale componenten (webshops, omnichannel logistiek). Zo'n 70% van de werknemers in de handel gebruikt geregeld internet op het werk (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023) en online verkoop maakt een groeiend deel van de omzet uit. E-commerce dwingt retailers tot efficiëntere supply chains en geavanceerde warehousing (met automatisering en robots bij orderpicking). Het resultaat is een hogere output per arbeidskracht in magazijnen en winkels. Tegelijk neemt de concurrentiedruk toe (consumenten kunnen online makkelijk prijzen vergelijken), wat een deel van de productiviteitswinst aan klanten ten goede laat komen via lagere prijzen in plaats van hogere marge.

Niet alle diensten hebben echter een hoge digitaliseringsgraad: de horeca bijvoorbeeld blijft deels analoog (in 2022 gebruikte slechts 56% van het horecapersoneel internet op het werk (Polder, Limpens, Vancauter, & Visser, 2023)). Hoewel reserveringssysteem en bezorgapps de efficiëntie hebben verhoogd, blijft het bereiden van een maaltijd of het schoonmaken van een hotelkamer mensenwerk met beperkte automatiseringskansen. Hier zien we Baumol-effecten: productiviteit gaat langzaam vooruit en ICT dient vooral ter verbetering van klantbeleving (bijv. via reviewsites, digitale check-ins) meer dan dat het aantal handen drastisch kan worden verminderd.

De dienstensector toont een uitgesproken intern contrast in ICT-impact. Informatie-intensieve subsectoren zoals de financiële en zakelijke dienstverlening realiseren substantiële productiviteitswinsten uit digitalisering, met name door procesautomatisering en kennisintensieve toepassingen. Deze effecten zijn sterk geconcentreerd bij grotere spelers, die over schaalvoordelen, gespecialiseerde IT-infrastructuur en complementariteiten zoals organisatievernieuwing beschikken.

Tegelijk blijven arbeidsintensieve diensten, zoals horeca en toerisme, structureel achter in digitaliseringsgraad en productiviteitsgroei. Hier is de toegevoegde waarde van ICT vooral indirect, via kwaliteitsverbetering en klantinteractie. De heterogeniteit binnen de dienstensector illustreert daarmee scherp de contingentie benadering: de productiviteitswinst van ICT is geen vast gegeven, maar een resultaat van sectorale, technologische en organisatorische randvoorwaarden. Voor beleid en bedrijfsstrategie betekent dit dat éénvormige digitaliseringsmaatregelen zelden volstaan: de effectiviteit van ICT hangt af van de mate waarin het aansluit bij de aard van de dienstverlening en de schaal van de organisatie.

Gezondheidszorg

De zorgsector heeft historisch een lage gemeten productiviteitsgroei, omdat veel zorgarbeid persoonsgebonden en moeilijk te automatiseren is. ICT in de zorg (e-health) heeft de potentie om hier verandering in te brengen door administratieve lasten te verlagen, diagnoses te ondersteunen en communicatie tussen zorgverleners en patiënten te vergemakkelijken. Elektronische patiëntendossiers (EPD) zijn een van de belangrijkste ICT-investeringen in ziekenhuizen en huisartsenpraktijken het afgelopen decennium. Een goed geïmplementeerd EPD kan dubbel werk voorkomen, medicatiefouten reduceren en tijd besparen bij het opvragen van informatie. Echter, de implementatie kostte in veel landen (waaronder Nederland) meer tijd en geld dan voorzien en de aanvankelijke productiviteitsimpact was beperkt of zelfs negatief doordat zorgpersoneel moest wennen en extra administratieve handelingen moest verrichten. Dit illustreert het eerder besproken GPT-effect: hoge aanloopkosten en leereffecten voordat baten komen.

Daarnaast zien we opkomst van telemedicine (consulten via video), monitoring op afstand (wearables die data doorgeven aan artsen) en AI in de diagnostiek (bv. beeldherkenning bij radiologie). Deze technologieën kunnen de reikwijdte van één arts vergroten bijvoorbeeld een medisch specialist kan via teleconsult meer patiënten zien in een dag dan fysiek mogelijk is, of AI kan routinecontroles uitvoeren

zodat de arts zich op complexere gevallen richt. Empirisch begint zich een beeld af te tekenen dat ziekenhuizen die intensief digitaliseren (zowel in het zorgproces als bedrijfsvoering) betere prestaties leveren, al is dit vaak zichtbaar in kwaliteit en patiënttevredenheid meer dan in strikte kosten per behandeling (Liu et al., 2022). De productiviteitswinst in zorg is moeilijk meetbaar omdat betere uitkomsten (snellere genezing, minder complicaties) niet altijd als 'meer output' worden geteld maar als kwaliteitsverbetering.

De adoptiesnelheid in de zorg is relatief traag door strenge regulering, privacy-eisen en de noodzaak van betrouwbaarheid. Innovaties moeten uitgebreid getest worden vooraleer ze standaardzorg worden. Hierdoor lopen sectoren als fintech of retail ver voor op healthtech. Wel versnelt de pandemie (COVID-19) sinds 2020 de adoptie van digitale zorg: er is een enorme sprong gemaakt in het aanbieden van videoconsults en digitale uitwisseling van gegevens, wat structureel kan bijdragen aan efficiency. Bijvoorbeeld, een psycholoog kan nu deels online groepsessies houden, waardoor reistijd en overhead verminderen, of een specialist in een academisch centrum kan op afstand meekijken met een consult elders (kennisdeling verhoogt effectiviteit).

Kortom, de zorg staat nog aan het begin van grootschalige productiviteitswinst door ICT. De komende jaren kan AI, robotica (bijv. operatierobots) en data-analyse helpen om wel productiviteitsgroei te realiseren maar het blijft een sector waar menselijk contact essentieel is, dus de rol van ICT is vooral ondersteunend en faciliterend in plaats van volledig arbeid-vervangend.

Landbouw

De landbouw- en agrarische sector stond historisch bekend om mechanisatie (tractoren, machines), maar minder om informatietechnologie. Dit is sterk aan het veranderen door wat men noemt precisielandbouw. Digitale technologie sensoren in de grond, drones boven het veld, GPS-gestuurde tractoren stelt boeren in staat hun land preciezer en efficiënter te bewerken. Denk aan geautomatiseerde melkrobots op melkveebedrijven, die 24/7 koeien melken en metingen verrichten over gezondheid en opbrengst. Dergelijke ICT-toepassingen verhogen de productiviteit per dier of hectare aanzienlijk, doordat ze arbeid uitsparen en de opbrengst optimaliseren. De productiviteit in de landbouw (bijv. opbrengst per arbeider) is mede hierdoor fors toegenomen in ontwikkelde landen.

De digitaliseringsgraad in landbouw loopt uiteen: grote agrarische bedrijven (bijv. tuinbouwkassen of grote akkerbouwbedrijven) zijn soms state-of-the-art met volledig geautomatiseerde kassen, terwijl kleine familieboerderijen slechts beperkt digitale middelen inzetten. De adoptie van IoT en datagebruik is hier sterk afhankelijk van schaal en investeringsvermogen. OECD (2019) stelt dat digitalisering enorme potentie heeft voor landbouwproductiviteit (en duurzaamheid), maar dat kosten, vaardigheden en relevantie nog barrières vormen voor brede adoptie (OECD, 2019). Veel boeren moeten eerst overtuigd raken van de return-on-investment van bijvoorbeeld sensornetwerken in het veld. Overheid en sectororganisaties spelen een rol om kennis te verspreiden en investeringssteun te bieden (smart farming initiatieven).

In Nederland is de landbouw relatief high-tech: experimenten met autonome trekkers, AI-gestuurde gewasherkenning en precisiebemesting zijn hier al realiteit. Een voorbeeld is het gebruik van drones en AI bij het detecteren van ziekten in gewassen, zodat alleen gericht pesticiden worden gespoten in plaats van hele velden (dit verhoogt niet alleen productiviteit maar vermindert ook inputkosten). De impact van ICT op productiviteit uit zich in hogere opbrengsten per hectare en besparing van arbeid en middelen. Tegelijk blijft landbouw deels afhankelijk van biologische processen; ICT kan de natuur beter managen maar niet volledig beheersen.

Logistiek en transport

De logistieke sector inclusief transport, opslag en distributie is eveneens sterk beïnvloed door ICT, met als doel zowel kosten te verlagen als snelheid en betrouwbaarheid te verhogen. Digitale logistieke systemen beheren tegenwoordig wereldwijde toeleveringsketens. Grote logistieke dienstverleners gebruiken geavanceerde software voor supply chain management, routeoptimalisatie en voorraadbeheer. Dit heeft tot lean supply chains geleid waarin voorraden just-in-time worden aangevuld, vervoersstromen real-time worden gevolgd en voertuigen optimaal worden beladen en ingepland. Bijvoorbeeld, pakketbezorgers als DHL en PostNL plannen routes met algoritmes die verkeer en belading meenemen, wat meer stops per uur mogelijk maakt (dus hogere productiviteit per bezorger).

In magazijnen en distributiecentra zien we een hoge mate van automatisering: warehouse management systems in combinatie met robots en autonome voertuigen (AGV's) zorgen voor snelle orderpicking en handling. Amazon's distributiecentra zijn bekende voorbeelden waar robots de orderverwerking versnellen, wat de output per magazijnmedewerker verhoogt. In traditionele magazijnen kan één medewerker misschien 100 orders per dag verwerken; met geautomatiseerde ondersteuning kan dit vele malen hoger liggen. In Nederland had in 2022 ongeveer 69% van de transport- en logistiekmedewerkers toegang tot internet op het werk (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023) dit lijkt relatief laag, maar houdt in dat bij twee derde van de werknemers ICT integraal onderdeel is van hun taak (bij chauffeurs bijv. boordcomputers, bij magazijnpersoneel scanners).

Een bijzonder aspect van logistiek is de rol van platforms en data-uitwisseling tussen bedrijven. PortCommunitySystems (bij havenlogistiek) of digitale marktplaatsen voor transportcapaciteit verbeteren de coördinatie tussen verschillende spelers. Door ICT kan een vrachtwagenchauffeur via een app direct een retourlading vinden in plaats van leeg terug te rijden, wat de productiviteit (in termen van beladen kilometers) verhoogt.

Ook tracking & tracing is een belangrijk ICT-resultaat: vrijwel alle zendingen zijn tegenwoordig online te volgen. Dit draagt niet direct bij aan fysieke productiviteit maar wel aan kwaliteitsverbetering en lagere faalkosten (minder zoekgeraakte goederen, sneller inspelen op vertragingen).

In de logistiek is de adoptie van nieuwe ICT vrij hoog bij grote internationale spelers (denk aan containerrederijen met geautomatiseerde terminals, of luchtvrachtbedrijven die AI gebruiken voor vraagvoorspelling). Echter, de sector kent ook veel MKB-transporteurs die slechts basale digitale tools gebruiken (navigatie, email). Er is dus binnen de sector een verschil tussen frontrunners en achterblijvers. De digitaliseringsgraad van logistiek is gematigd tot hoog, afhankelijk van de deelsector: warehousing hoog, wegvervoer MKB iets lager. Maar de trend is duidelijk naar verdere digitalisering, bijvoorbeeld via IoT (vrachtwagens vol sensoren die bandenspanning en temperatuur monitoren) en big data analyse (supply chain analytics).

Sectoroverstijgende vergelijking Om de digitaliseringsgraad per sector te kwantificeren, presenteren we enkele kengetallen voor Nederland (circa 2022):

Sector	% personeel dat computer met internet gebruikt	Voorbeelden van dominante ICT-toepassingen
Industrie	66%	Industrie 4.0: robots, IoT-sensoren, procesautomatisering
Financiële diensten	100%	Digitale transactieverwerking, online portals, AI risicoanalyse
Overige zakelijke diensten	~80-99% (afhankelijk van sub-sector)	Kantoorsoftware, data-analyse, communicatieplatforms
Handel (groot- en detail)	~70%	E-commerce, voorraadsoftware, kassasystemen
Transport & logistiek	69%	Supply chain software, routeplanning, tracking systemen
Horeca	56%	Online boeking, kassa/POS-systemen, bezorgapps
Gezondheidszorg	94% (ziekenhuizen hoger, care iets lager)	Elektronisch patiëntendossier, telezorg, zorgrobots (incipient)

Sector	% personeel dat computer met internet gebruikt	Voorbeelden van dominante ICT-toepassingen
ICT-sector zelf	98%	– (ICT is core business; vrijwel alle processen digitaal)
Landbouw	(n.b.: geen statline in tabel; variabel)	Precisielandbouw: GPS, sensoren, drones (voornamelijk grotere bedrijven)

Tabel 1

Digitaliseringsgraad en ICT-toepassingen per sector in Nederland (circa 2022)

Eigen bewerking op basis van gegevens uit Polder, Limpens, Vancauteran en Visser (2023) en ABN AMRO (2020).

Toelichting: In de ICT-sector en financiële diensten is bijna al het werk digitaal ondersteund, terwijl in horeca en basishandel het aandeel lager is vanwege de aard van werkzaamheden. Zorg heeft hoog computergebruik (vooral administratie en dossier), maar klinische processen zijn deels analoog. Landbouw is lastig in zo'n statistiek te vangen, maar grootschalige landbouwbedrijven gebruiken veel technologie terwijl kleinschalige minder (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023).

Bovengenoemde cijfers illustreren dat sectoren als ICT, finance en professionele diensten koplopers zijn in digitale adoptie, terwijl traditionele sectoren als bouw, horeca, basisindustrie lager zitten. De productiviteitsimpact volgt dit patroon: sectoren met hoge digitalisering droegen in de jaren 1995–2005 sterk bij aan de productiviteitsgroei (bijv. de bijdrage van ICT-capaciteit aan BBP-groei was groot in handel en finance) (ABN AMRO, 2020). Sectoren met lage digitalisering lieten minder productiviteitsgroei zien. Echter, een belangrijke nuance is dat de effectiviteit van ICT per sector verschilt: in de industrie richt ICT zich op kostenreductie en outputverhoging, in diensten meer op kwaliteitsverbetering en snelheid, wat niet altijd 1-op-1 in de productiviteitsstatistieken zichtbaar is.

Nu we de variaties in ICT-gebruik en -impact tussen zowel bedrijfstypen (MKB vs groot) als sectoren hebben verkend, kunnen we deze inzichten theoretisch kaderen. In de volgende sectie worden relevante theoretische perspectieven besproken die helpen verklaren waarom ICT-investeringen niet overal tot dezelfde resultaten leiden en onder welke omstandigheden de grootste effecten optreden.

Theoretisch kader

Om de verbinding tussen ICT-investeringen en productiviteit te doorgronden, is het nuttig verschillende theoretische perspectieven te hanteren. In deze literatuurstudie staan vijf kernbenaderingen centraal: de Resource-Based View (RBV), de theorie van complementariteiten, de productiviteitsparadox, de diffusietheorie van innovaties en de contingentiebenadering. Samen bieden deze theorieën een multidimensionaal raamwerk om de variatie in ICT-impact te verklaren en voorspellingen (hypotheses) te formuleren. We bespreken ze hieronder afzonderlijk en koppelen ze aan onze onderzoeksvraag.

Resource-Based View (RBV)

De Resource-Based View stelt dat het succes en de performance van een organisatie primair afhangen van de middelen en capaciteiten die ze bezit, met name als deze waardevol, zeldzaam, moeilijk imiteerbaar en niet gemakkelijk vervangbaar zijn (VRIN-criteria, Barney 1991). Toegepast op ICT betekent dit dat simpelweg toegang hebben tot technologie niet genoeg is; het gaat erom ICT-capaciteiten op te bouwen die moeilijk na te maken zijn door concurrenten. Zo'n capaciteit kan bijvoorbeeld bestaan uit een unieke IT-architectuur geïntegreerd met bedrijfsprocessen, of een data-analysecompetentie die superieure marktinzichten geeft. Kunc en Morecroft (2010) tonen in hun RBV-gebaseerde simulaties aan dat managementbeslissingen over resource-allocatie cruciaal zijn voor prestaties bedrijven die consistent investeren in kernresources (waaronder ICT) en deze afstemmen op hun strategie behalen betere resultaten (Kunc & Morecroft, 2010). Dit impliceert dat bedrijven die ICT zien als strategische resource en erin excelleren (bijvoorbeeld Big Tech bedrijven, of een logistieke kampioen als DHL met ongeëvenaarde IT-systemen) structureel hogere productiviteit kunnen behalen dan bedrijven voor wie ICT een inwisselbare tool is.

Voor MKB versus multinationals biedt de RBV een verklaring waarom multinationals vaak meer baat hebben bij ICT: ze hebben de slack resources en strategische reikwijdte om van ICT een distinctive capability te maken. Multinationals kunnen proprietary systemen ontwikkelen (een eigen ERP op maat wereldwijd uitgerold iets wat concurrenten niet makkelijk kunnen kopiëren). MKB's daarentegen moeten meestal standaardoplossingen gebruiken die ook door hun concurrent-MKB's te implementeren zijn, waardoor ICT minder onderscheidend wordt. Nason en Wiklund (2018) vonden in een meta-analyse dat vooral versatile resources middelen die op uiteenlopende manieren ingezet kunnen worden geassocieerd zijn met groei en succes (Nason & Wiklund, 2018). ICT is typisch zo'n versatile resource: het kan gebruikt worden voor efficiency, voor innovatie, voor nieuwe diensten, etc. Grote bedrijven kunnen de veelzijdigheid van ICT ten volle benutten door het op meerdere domeinen toe te passen (bijvoorbeeld AI voor zowel klantanalyse als procesoptimalisatie), terwijl kleine bedrijven wellicht focussen op één toepassing. De RBV voorspelt dat degene die ICT het beste integreert met andere unieke resources (zoals merk, procesknowhow, menselijk talent) een competitief voordeel verwerft.

Theory of Complementarities

De complementariteitstheorie (Milgrom & Roberts, 1990) stelt dat bepaalde investeringen elkaar wederzijds versterken: het geheel is meer dan de som der delen. Voor ICT betekent dit dat de productiviteitsimpact veel groter is als gelijktijdig ook in complementaire organisatorische innovaties wordt geïnvesteerd. Technologie implementeren zonder bijvoorbeeld training of procesherontwerp kan zelfs contraproductief zijn. Ennen en Richter (2010) geven in hun literatuuroverzicht aan dat er veel empirisch bewijs is voor complementariteiten binnen organisaties (Ennen & Richter, 2010). Met name koppels als "ICT & decentraal beslissingsbevoegdheid" of "ICT & nieuwe prestatie-meetsystemen" worden vaak genoemd als samen succesvol: ICT maakt nieuwe manieren van werken mogelijk, maar om die te benutten moeten organisatiestructuur en managementstijl mee-evolueren (Ennen & Richter, 2010). Brynjolfsson en Hitt (1990) benadrukten al dat bedrijven met de hoogste IT-productiviteit niet per se de meeste geld aan IT uitgaven, maar degene waren die "bundles" van IT en organisatorische innovaties doorvoerden denk aan het gelijktijdig invoeren van een nieuw IT-systeem én het flattenen van de organisatie of het introduceren van team-based work. Deze complementaire veranderingen zorgen voor synergie: IT maakt informatie transparant en een platte organisatie zorgt dat die info effectief benut wordt door werknemers op de vloer, hetgeen samen de productiviteit spectaculair verbetert (Bresnahan, Brynjolfsson, & Hitt, 2002).

Concreet voorbeeld: de implementatie van een ERP-systeem gaat vaak gepaard met business process re-engineering. Als een bedrijf alleen de software installeert maar alle oude procedures intact laat, boekt het weinig winst. Pas als processen heringericht worden rondom de nieuwe informatiestromen, stijgt de efficiency. Complementariteitstheorie verklaart daarmee ook deels de productiviteitsparadox: bedrijven zagen lange tijd geen effect van IT omdat ze niet de juiste complementen hadden geïmplementeerd. Zodra dat wel gebeurde (in de late jaren 90), kwam er een golf van productiviteitsgroei.

Voor onze centrale vraag (MKB vs multinationals) impliceert de complementariteitstheorie dat multinationals beter gepositioneerd zijn om de nodige complementaire investeringen te doen. Ze hebben immers grotere managementteams en expertise in change management en kunnen investeren in trainingen, consultancy en reorganisatieprojecten om de ICT optimaal tot zijn recht te laten komen. MKB-bedrijven hebben het vaak druk met de dagelijkse operatie en missen middelen om zulke uitgebreide veranderprogramma's te draaien naast de ICT-implementatie. Dit kan verklaren waarom de productiviteitswinst bij MKB soms uitblijft: ze schaffen bijvoorbeeld een nieuwe technologie aan (bv. een geavanceerd CRM), maar passen hun klantprocessen niet ingrijpend aan of trainen personeel niet voldoende door, waardoor de potentiële winst niet wordt gerealiseerd.

Empirische studies ondersteunen dit: zo noteren Brynjolfsson, Rock & Syverson (2021) dat intangible investeringen in organisatiekapitaal, training, etc. noodzakelijk zijn om een GPT als AI effect te laten hebben (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2021). Bedrijven die 1 dollar in AI investeren, investeren vaak ~10 dollar in complementen (schatting in literatuur) en juist die bedrijven zien later de J-curve opstijgen. Dit is een direct pleidooi voor complementariteit. Ennen & Richter (2010) wijzen wel op een

nuance: complementariteiten identificeren is complex en niet alle combinaties leveren gegarandeerd meerwaarde (Ennen & Richter, 2010). Soms overschat men dat “meer is altijd beter” zonder goede implementatie kunnen te veel veranderingen ook contraproductief botsen. Maar over het algemeen geldt: ICT + complementaire innovaties geeft hogere productiviteit dan elk afzonderlijk.

De productiviteitsparadox

De **productiviteitsparadox** van ICT werd, zoals besproken, beroemd gemaakt door Erik Brynjolfsson in 1993. Hij vatte de puzzel samen als “we see computers everywhere except in the productivity statistics” (Brynjolfsson, 1993). Deze paradox is eigenlijk een observatie: ondanks massale investeringen in computers in de jaren '80, bleef de productiviteitsgroei in veel ontwikkelde economieën laag. In latere jaren is de paradox deels opgelost toen productiviteit eind jaren '90 aantrok, maar met de opkomst van nieuwe IT (zoals AI) spreken sommige auteurs opnieuw van een moderne paradox (Brynjolfsson et al., 2018).

De paradox dwingt ons te zoeken naar achterliggende oorzaken voor het uitblijven van productiviteitswinst. Enkele verklaringen die in de literatuur worden gegeven zijn (Brynjolfsson, 1993; Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2021). (1) Lags: het kost tijd voordat IT-investeringen zich vertalen in nieuwe producten of efficiëntere processen; metingen kort na de investering missen dan de latere opbrengsten. (2) Mismanagement: bedrijven investeren wel in technologie maar maken implementatiefouten of hebben organisatorische inertie, zodat de potentie niet wordt benut. (3) Ontbreken van complementariteiten: zoals hierboven besproken, zonder gelijktijdige investeringen in mensen en processen, blijft het effect uit. (4) Meetproblemen: traditionele productiviteitsstatistieken kunnen moeilijk de baten van IT vangen (denk aan kwaliteitsverbeteringen of nieuwe gratis digitale diensten die niet in BBP verschijnen).

In deze studie is de paradox relevant om te onderstrepen dat meer ICT investeren niet automatisch meer productiviteit betekent. Het herinnert ons eraan kritisch te kijken naar wanneer en waarom ICT wél effect heeft. Zo is in Nederland gebleken dat met name de dienstensector worstelt met de paradox: men investeert flink in bijv. klantinformatiesystemen, maar de verwachte productiviteitssprong blijft uit (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). Multinationals lijken beter in staat de paradox te doorbreken dan mkb, door schaal en expertise zoals eerder besproken (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023; Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2021). Tegelijk biedt de paradox een nuance: als we geen effect zien, betekent dat niet per se dat ICT nutteloos is het kan wijzen op ontbrekende voorwaarden. Polák (2017) vond meta-analytisch dat studies die geen effect vonden vaak keken naar situaties zonder die complementaire veranderingen (Polák, 2017). Zodra bedrijven wel tegelijkertijd in organisatie en mensen investeerden, kwam er wél een positief effect naar voren. Dit inzicht maakt de link met de theorie van complementariteiten duidelijk en legitimeert waarom in onze hypothese-ontwikkeling beide aspecten zullen terugkomen (ICT en complementen).

Diffusietheorie van innovaties

De diffusion of innovation-theorie van Rogers (1962) biedt een kader om te begrijpen hoe nieuwe technologieën zich verspreiden over een populatie van gebruikers (hier: bedrijven). Volgens Rogers zijn er innovators, early adopters, de early majority, late majority en laggards. Toegepast op ICT-adoptie zien we dat grote, toonaangevende bedrijven vaak fungeren als innovators/early adopters, terwijl kleinere bedrijven later volgen wanneer de technologie meer bewezen en betaalbaarder is. Deze diffusievolgorde heeft implicaties voor de productiviteitsimpact: de koplopers experimenteren en incasseren eerst mogelijk negatieve of tegenvallende resultaten, maar leren en verbeteren en oogsten vervolgens de voordelen. De volgers kunnen profiteren van de lessen van de koplopers en implementeren de technologie wanneer deze al verbeterd is hun lagged adoptie kan dus alsnog productiviteitswinst geven, zij het later in de tijd.

In het kader van onze onderzoeksvraag zou diffusietheorie voorspellen dat multinationals eerder geneigd zijn te investeren in gloednieuwe ICT (denk aan AI, blockchain) vanwege hun middelen en strategische visie, terwijl MKB's wachten tot de technologie meer gemeengoed is. Dit patroon zien we terug in adoptiecijfers: bijvoorbeeld het percentage bedrijven dat AI-technologie gebruikt is veel hoger bij bedrijven >250 werknemers dan bij <50 werknemers (in 2022 gebruikte 15% van de grote bedrijven in NL een of andere AI, tegen slechts ~5% van de kleine) (Polder, Limpens, Vancauteran, & Visser, 2023). Deze kloof betekent dat grote bedrijven de eerste productiviteitsvoordelen (of leereffecten) van AI krijgen, terwijl kleine mogelijk achterop raken. Diffusietheorie verklaart ook waarom sectoren verschillen: in sommige sectoren is de peer pressure of concurrentiedruk om te digitaliseren groter (bijv. finance, waar iedereen online moet, versus bouw, waar men lang analoog kon blijven werken).

Een belangrijk element uit Rogers' theorie zijn de adoptiefactoren: relatief voordeel, compatibiliteit, complexiteit, probeerbaarheid en observeerbaarheid. Voor MKB is vaak de complexiteit van nieuwe ICT een drempel ("hebben we de expertise om dit te gebruiken?") en de probeerbaarheid lager (ze kunnen niet makkelijk een pilot op kleine schaal doen zonder risico). Grote bedrijven kunnen bijvoorbeeld een innovatielab opzetten om nieuwe tools uit te testen (hoge probeerbaarheid) en hebben het absorptievermogen voor complexiteit. Deze factoren beïnvloeden de snelheid en mate van diffusie van ICT. Zhang et al. (2015) gebruikten diffusietheorie om acceptatie van e-health innovaties te bestuderen en benadrukten dat percepties van waarde en gebruiksgemak kritieke drempels zijn (Zhang, Yu, Yan, & Spil, 2015). Bij bedrijven zien we iets soortgelijks: als een technologie duidelijk rendabel is en in de bedrijfscultuur past, zal adoptie sneller gaan.

Diffusietheorie maakt duidelijk dat we de huidige situatie (grote bedrijven meer productief met ICT dan kleine) deels kunnen zien als een momentopname in een langer diffusieproces. Uiteindelijk, als een technologie volledig is doorgedrongen, zouden ook late adopters profiteren of verdwijnen als ze niet adopteren. Dit model relativeert dus enigszins de permanente aard van het verschil het kan verkleinen als MKB de achterstand inloopt maar andere theorieën (zoals RBV en complementariteit) suggereren dat er blijvende verschillen zijn vanwege resource-asymmetrie.

Contingentiebenadering

De contingentie-theorie stelt dat er geen one-best-way is; de effectiviteit van managementpraktijken (en technologie-implementatie) hangt af van de specifieke context en omstandigheden (Otley, 2016; Schoonhoven, 1981). Toegepast op ICT betekent dit dat de manier waarop ICT bijdraagt aan productiviteit afhankelijk is van factoren als: de bedrijfsomvang, de sector, de marktvolatiliteit, de strategie van de organisatie, enz. Met andere woorden, "it depends" wat werkt voor een groot industrieel bedrijf, werkt niet per se voor een kleine dienstverlener en vice versa.

In ons kader fungeert contingentie als overkoepelend model dat de variabiliteit in uitkomsten verklaart en de andere theorieën integreert (Otley, 2016; Schoonhoven, 1981). Zo zien we dat RBV en complementariteit vooral verklaren waarom ICT bij sommige bedrijven (met unieke resources of complementen) beter rendeeert. Diffusietheorie verklaart wanneer en hoe snel ze ICT adopteren. Contingentie brengt dit samen en zegt: de impact zal verschillen per context en die contextuele factoren moeten we expliciet meenemen.

Een belangrijk contingentie-element is omvang dat is in feite onze hoofdvraag. We kunnen dit zo stellen: de optimale manier om ICT te gebruiken is verschillend voor mkb en voor grote ondernemingen. Multinationals kunnen grootschalige, op maat gemaakte IT-infrastructuren bouwen, terwijl mkb beter af is met eenvoudige, flexibele technologieën (zoals SaaS) die passen bij hun beperktere middelen (Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2021; Polder, Limpens, Vancauteren, & Visser, 2023). Deze verschillen zijn geen kwestie van betere of slechtere aanpak, maar van geschiktheid bij de context. Evenzo bepaalt de sector de geschikte digitale strategie: een hoogfrequente trading firm zal investeren in ultrasnelle IT voor microsecondenvoordeel, terwijl een bouwbedrijf investeert in robuuste tablets voor op de werf ieder opereert naar zijn contingenties.

Contingentie-theorie benadrukt dus het belang van fit: de ICT-investeringen moeten aansluiten bij de organisatie en omgeving om effectief te zijn. Dit verklaart ook waarom generieke bevindingen over ICT-impact soms tegenstrijdig zijn in de literatuur verschillende studies kijken naar verschillende contexten. De theorie spoort ons aan in onze analyse te segmenteren op grootte en sector (wat we gedaan hebben) en te verwachten dat de beste prestaties worden behaald wanneer bedrijven een ICT-strategie volgen die bij hun situatie past. Zo niet, dan wordt geld verspild. Bijvoorbeeld, een klein ambachtelijk bedrijf dat een peperduur ERP-systeem implementeert zonder de schaal of noodzaak ervoor, zal eerder productiviteit verliezen dan winnen; het is "overengineered" voor hun situatie.

Terwijl RBV en complementariteit hintten waarom MKB vs MNO verschillen, maakt contingentie het expliciet: bedrijfsgrootte en sector modereren de relatie tussen ICT en prestatie. Deze inzichten zullen we direct vertalen in de hypothesen.

Samenhang van theorieën. De bovenstaande kaders vullen elkaar aan. RBV en complementariteiten benadrukken interne middelen en investeringsbundels; diffusie en contingentie benadrukken externe en contextuele factoren. Gezamenlijk bieden ze een rijke verklaring voor onze observatie dat ICT-impact varieert. Samengevat leren we: (a) ICT kan een bron van voordeel zijn, maar vooral als het

ingebod is in unieke resources en complementen (RBV, complementariteit); (b) niet iedereen haalt dat voordeel, mede door adoptietiming en -snelheid (diffusie: MKB loopt vaak achter); (c) de context (omvang, sector) bepaalt welke aanpak werkt en hoeveel effect gerealiseerd kan worden (contingentie); en (d) het uitblijven van effect is mogelijk een teken dat bepaalde voorwaarden missen (paradox wijst terug naar complementariteit en contingentie).

Deze theoretische inzichten leiden ons nu naar concrete hypothese-ontwikkeling. We formuleren verwachtingen over hoe ICT-investeringen de productiviteit beïnvloeden in MKB's versus MNO's, in lijn met de literatuur.

Hypotheseontwikkeling

Op basis van de literatuur kunnen we enkele hypothesen opstellen die het empirisch onderzoek zouden kunnen leiden. De algemene onderzoeksvraag is: *"Hoe verschilt de impact van ICT-investeringen op productiviteit tussen mkb-bedrijven en multinationals?"* Gegeven de besproken bevindingen formuleren we de volgende hypothesen:

H1: ICT-investeringen dragen positief bij aan de productiviteit van bedrijven.

Toelichting: Deze hypothese vormt de basis en volgt de brede literatuur dat ICT (mits goed ingezet) leidt tot efficiëntere processen en outputgroei (Brynjolfsson & Hitt, 2000). Het is consistent met talloze studies die een positieve correlatie vinden tussen IT-capital en productiviteit op bedrijfsniveau (Doraszelski & Jaumandreu, 2013; Biagi, 2013). We verwachten dus in het algemeen een positief effect van ICT-uitgaven op productiviteit (zowel gemeten in arbeidsproductiviteit als TFP).

H2: De productiviteitswinst van ICT-investeringen is groter bij multinationals dan bij mkb-bedrijven.

Toelichting: Deze hypothese vloeit voort uit de aanzienlijke verschillen in schaal, resources en complementariteiten tussen grote en kleine bedrijven. Zoals gezien profiteren grote ondernemingen van schaalvoordelen hun gemiddelde kosten dalen en opbrengsten stijgen relatief meer door digitalisering (Brynjolfsson, Collis, Kim, & McElheran, 2023). Bovendien kunnen ze ICT combineren met unieke assets (RBV) en investeringen in organisatie en mens (complementariteiten) die mkb niet kan evenaren (Bresnahan, Brynjolfsson, & Hitt, 2002; Brynjolfsson, Rock, & Syverson, 2021). Empirisch verwachten we daarom dat, gegeven eenzelfde ICT-investering (bijvoorbeeld % van omzet), het effect op productiviteit significant hoger zal uitvallen voor multinationals dan voor mkb. Anders geformuleerd: *bedrijfsgrootte modereert het effect van ICT op productiviteit*, waarbij grotere bedrijven

een sterkere output-respons vertonen. Dit is in lijn met bevindingen dat digitalisering vaak gepaard gaat met groeiende kloof tussen “frontier firms” (vaak grotere high-tech bedrijven) en achterblijvers (veel mkb) (Gal et al., 2019).

H3: Bedrijfsgrootte (firm size) medieert het effect van ICT-investeringen op de prestaties van bedrijven.

De veronderstelling dat bedrijfsgrootte een mediërende rol speelt tussen ICT-investeringen en prestaties is gesteld op inzichten uit de resource-based view (Barney, 1991). Deze theorie stelt dat interne organisatorische middelen en capaciteiten bepalend zijn voor het behalen van duurzaam concurrentievoordeel. Grote ondernemingen beschikken doorgaans over meer financiële, menselijke en organisatorische middelen om ICT effectief te implementeren, ondersteunen en benutten (Brynjolfsson & Hitt, 2000).

Volgens deze redenering leidt een ICT-investering niet automatisch tot hogere prestaties. De effectiviteit van ICT wordt mede bepaald door de schaal van het bedrijf, met name door het vermogen om de nodige complementaire investeringen te doen (bijv. training, reorganisatie, technologische integratie). Kleinere bedrijven missen mogelijk de middelen of flexibiliteit om het volledige potentieel van ICT te benutten, waardoor de prestatie-impact beperkter is.

In termen van causale structuur betekent dit dat:

1. ICT-investeringen invloed hebben op prestaties (zoals productiviteit of winstgevendheid),
2. ICT-investeringen samenhangen met bedrijfsgrootte (bijv. doordat succesvolle bedrijven sneller groeien),
3. Bedrijfsgrootte op zijn beurt een deel van het effect van ICT op prestaties verklaart.

Op basis van het klassieke mediatiemodel van Baron en Kenny (1986) wordt dan ook verwacht dat het directe effect van ICT op prestaties gedeeltelijk wordt verklaard door de mediërende rol van firm size.

Methodologie

Dataverzameling en steekproef

De analyse zal worden uitgevoerd op basis van bedrijfseconomische data waarin ICT-gebruik, arbeidsproductiviteit en andere ondernemingskenmerken zijn vastgelegd. De analyse is gebaseerd op een steekproef van 249034 Belgische ondernemingen in de particuliere sector. Ervaring toont aan dat een grotere digitale adoptie vaak samenhangt met een hogere productiviteit (Biagi, 2013; OECD, 2021). Om de betrouwbaarheid van de regressieresultaten te waarborgen, zijn alle waarnemingen met ontbrekende waarden op een van de gebruikte variabelen verwijderd volgens de gebruikelijke methode van 'listwise deletion'. De regressieanalyse wordt dus uitsluitend toegepast op complete casussen, wat leidt tot een gezuiverd eindbestand waarin ontbrekende data geen systematische vertekening veroorzaken (Allison, 2002; Schafer & Graham, 2002).

Variabeleconstructie

De variabelen zullen worden geconstrueerd op een wijze die statistische analyse optimaal ondersteunt. Voor continue variabelen met een scheve verdeling zoals ICT-investeringen, productiviteit en bedrijfsomvang zal de natuurlijke logaritme worden genomen om de distributie te normaliseren en interpretatie als procentuele effecten te vereenvoudigen (Gujarati & Porter, 2009). In SPSS wordt dit uitgevoerd via *Transform → Compute Variable* (bijv. $\text{LOG_ICT} = \text{LN}(\text{ICT})$). Categorievariabelen zullen worden omgezet in dummy's, waarbij sectorvariabelen (zoals productie vs. diensten) als één-op-één dummyvariabelen worden gecodeerd via *Transform → Create Dummy Variables*. Indien jaartallen worden meegenomen, worden jaardummy's toegevoegd om tijdsgebonden invloeden te controleren. De multinationale status (MNE) wordt gemarkeerd als een binaire dummy (1 = multinationaal, 0 = niet-multinationaal). Waar nodig worden aanvullende variabelen gehercodeerd of berekend (zoals investeringsratio's of ICT-arbeidsaandeel) om consistentie en vergelijkbaarheid te waarborgen.

Regressiemodellen

De hypothesen zullen worden getest met lineaire regressiemodellen (OLS) in SPSS (*Analyse → Regression → Linear*), volgens het volgende opbouwschema:

- **Model 1 (H1):** De log van arbeidsproductiviteit fungeert als afhankelijke variabele, met log(ICT-intensiteit) als hoofdverklarende variabele. Controlevariabelen omvatten onder meer bedrijfsomvang (log van werknemersaantal of omzet), sector- en jaardummies en de multinationale status (MNE). Dit model toetst of ICT-investeringen direct samenhangen met productiviteit, zoals ook wordt gesuggereerd in eerder empirisch werk (Biagi, 2013).

• **Model 2 (H2):** Dit model breidt het vorige uit door een interactieterm of aanvullende voorspeller op te nemen: de MNE-dummy. Hiermee wordt onderzocht of multinationale ondernemingen systematisch verschillen in het verband tussen ICT en productiviteit ten opzichte van niet-MNE's.

• **Model 3 (H3 Mediatie):** Voor de mediatiehypothese wordt een drietal regressies uitgevoerd conform de stappen van (Baron & Kenny, 1986):

(a) Regressie van log(productiviteit) op log(ICT) met controles;

(b) Regressie van de veronderstelde mediator (bijv. bedrijfsomvang) op log(ICT);

(c) Regressie van log(productiviteit) op zowel log(ICT) als de mediator met dezelfde controles.

Volledige mediatie wordt verondersteld indien het directe effect van ICT in stap (c) verdwijnt of substantieel afneemt ten opzichte van stap (a).

Alle regressies worden geschat met de standaard 'Enter'-methode (alle voorspellers tegelijk). In SPSS worden ook analyseopties zoals VIF en collinearity diagnostics geselecteerd om multicollineariteit te controleren. Model fit wordt geëvalueerd aan de hand van F-testen en R^2 -waarden, die worden besproken in het resultatenhoofdstuk.

Dummies en controlevariabelen

De regressiemodellen zullen worden aangevuld met meerdere dummy- en controlevariabelen om verstoringen te minimaliseren. Voor elke sector wordt één dummyvariabele aangemaakt (bijvoorbeeld op basis van een bedrijfstakcategorie), zodat elk model een volledige set sector-dummies bevat. Eveneens worden jaardummy's toegevoegd om te corrigeren voor tijdsgebonden effecten. De multinationale status (MNE) wordt opgenomen als een binaire dummyvariabele (1 = multinationaal, 0 = niet-multinationaal), om het effect van internationaal eigendom afzonderlijk te kunnen analyseren.

Als controlevariabelen worden onder meer opgenomen: bedrijfsomvang (bijv. log(aantal werknemers) of log(omzet)), aangezien grotere ondernemingen vaak andere productiviteitskenmerken vertonen; daarnaast mogelijk kapitaalintensiteit of uitgaven aan onderzoek en ontwikkeling (R&D), indien relevant voor het onderzochte verband. Deze controlevariabelen worden gekozen op basis van gangbare praktijk in bedrijfseconomische regressiestudies (Gal et al., 2019; Syverson, 2011; Bartelsman & Doms, 2000) en worden in SPSS ingevoerd als continue variabelen.

Dummyvariabelen en recode-bewerkingen worden gegenereerd via de SPSS-functies *Transform* → *Recode into Different Variables* en *Create Dummy Variables*, zodat categorische data correct worden verwerkt in de analyses (bijvoorbeeld: *IF sector = 1 THEN dummy_sector1 = 1 ELSE dummy_sector1 = 0*)

Mediatieanalyse

De mediatieanalyse zal worden opgezet volgens de klassieke stappen van Baron en Kenny (1986). Deze procedure maakt het mogelijk om te onderzoeken of een tussenliggende variabele zoals bedrijfsomvang het verband tussen ICT-investeringen en productiviteit verklaart. Concreet worden de volgende drie regressiemodellen geschat:

1. **Effect ICT → productiviteit:** Een regressie met log(productiviteit) als afhankelijke variabele en log(ICT) (plus controlevariabelen) als voorspellers.
2. **Effect ICT → mediator:** Een regressie waarbij de veronderstelde mediator (bijvoorbeeld bedrijfsomvang) wordt verklaard door log(ICT), inclusief dezelfde controles.
3. **Effect mediator → productiviteit (met ICT):** Een regressie waarbij zowel log(ICT) als de mediator gezamenlijk worden opgenomen als voorspellers van log(productiviteit).

Deze drie modellen worden afzonderlijk uitgevoerd in SPSS, met telkens dezelfde set controlevariabelen. Er is sprake van volledige mediatie wanneer het effect van ICT op productiviteit in stap 3 volledig verdwijnt na toevoeging van de mediator. Als dit effect slechts gedeeltelijk afneemt, spreken we van partiële mediatie. De nadruk ligt op de vergelijking van coëfficiënten tussen stap 1 en stap 3. Er zal geen Sobel-test worden uitgevoerd, aangezien SPSS deze test niet standaard ondersteunt en omdat het directe effect van ICT niet noodzakelijk significant hoeft te zijn om mediation plausibel te maken (Zhao, Lynch, & Chen, 2010).

Robuustheidstests

Om de betrouwbaarheid van de bevindingen te toetsen, zullen verschillende robuustheidstoetsen worden uitgevoerd:

- **Binaire logistische regressie:** Als gevoeligheidsanalyse wordt de afhankelijke variabele getransformeerd naar een binaire uitkomst (bijvoorbeeld: 'hoge' versus 'lage' productiviteit). Vervolgens wordt een binaire logistische regressie geschat (*Analyse → Regression → Binary Logistic*) met dezelfde onafhankelijke variabelen als in het initiële OLS-model. Dit laat toe om na te gaan of de richting van de effecten behouden blijft wanneer de afhankelijke variabele categorisch is. Een vergelijkbaar patroon in de resultaten versterkt de robuustheid van de conclusies, ongeacht de schaal van de prestatiemaatstaf (Gujarati & Porter, 2009).

- **Alternatieve prestatiemaatstaf (ROA):** Daarnaast wordt een alternatieve afhankelijke variabele getest, met name de Return on Assets (ROA) van het bedrijf. Door ROA als uitkomstvariabele in te voeren in dezelfde regressiestructuur (inclusief log(ICT), controlevariabelen en eventuele mediators), wordt nagegaan of de relaties specifiek zijn voor arbeidsproductiviteit of ook gelden voor een andere maat van financieel resultaat. Deze aanpak het testen van een alternatieve prestatie-indicator is

gebruikelijk binnen bedrijfseconomisch onderzoek en fungeert als extra controle tegen specifieke modelafhankelijkheid (Brynjolfsson & Hitt, 2000).

Alle robuustheidstoetsen worden uitgevoerd in SPSS met identieke analysemethoden (*Analyse* → *Regression*), met alleen noodzakelijke aanpassingen (zoals het hercoderen van de afhankelijke variabele of aanpassing via *Compute*). De verwachte uitkomst is dat de kwalitatieve conclusies niet substantieel verschillen na deze specificatietests, wat zou wijzen op een stabiel en betrouwbaar regressiemodel.

Diagnostische controles

Voor alle regressies zullen de klassieke assumpties worden gecontroleerd aan de hand van diagnostische output uit SPSS. De volgende stappen worden systematisch ondernomen om de geschiktheid van het OLS-model te beoordelen:

- **Homoscedasticiteit (gelijke variantie):** Dit wordt geëvalueerd via een scatterplot van gestandaardiseerde voorspelde waarden (ZPRED) tegen gestandaardiseerde residuen (ZRESID). Een willekeurig, patroonloos verspreid beeld ('shotgun blast') duidt op homoscedasticiteit; een trechter- of boogvorm wijst op mogelijke heteroscedasticiteit (Gujarati & Porter, 2009).
- **Normaliteit van residuen:** De normaliteit wordt gecontroleerd met een normaal P-P-plot. Deze grafiek vergelijkt de geobserveerde cumulatieve verdeling van de residuen met de verwachte normaalverdeling. Punten die dicht bij de diagonaal liggen wijzen op een acceptabele normaliteitsbenadering (Field, 2013).
- **Multicollineariteit:** Deze wordt beoordeeld via de Variance Inflation Factor (VIF) en correlatiematrices. Een VIF-waarde boven de 10 geldt als indicatie van zorgwekkende multicollineariteit. Bij overschrijding kunnen sterk gecorreleerde variabelen worden verwijderd of samengevoegd (Gujarati & Porter, 2009).
- **Invloedrijke waarnemingen:** De invloed van individuele observaties wordt onderzocht met Cook's afstand (Cook's D). Een grenswaarde van $4/n$ (waarbij n het aantal observaties is) zal worden gehanteerd als indicatie voor mogelijk problematische datapunten (Field, 2013). Waarnemingen boven deze drempel worden nader onderzocht op invoer- of meetfouten en desgewenst geëxcludeerd in een gevoeligheidsanalyse.

Door deze diagnostische controles waaronder de P-P-plot, ZPRED-ZRESID-plot, VIF-waarden en Cook's D wordt gegarandeerd dat de regressiemodellen voldoen aan de noodzakelijke OLS-assumpties voor betrouwbare schattingen.

Conform de literatuur (Gujarati & Porter, 2009; Field, 2013) zijn de regressiebevindingen niet gebaseerd op modellen waarbij essentiële aannames evident worden geschonden.

Software en procedures

De volledige data-analyse zal worden uitgevoerd in IBM SPSS Statistics (versie 29). De voorbereiding van de dataset en de regressieanalyses **worden gerealiseerd** via de volgende standaardprocedures:

- **Compute Variable:** Wordt gebruikt voor het berekenen van nieuwe variabelen, zoals log-transformaties ($LN()$), ratio's of gemiddelden.
- **Recode into Different Variables:** Wordt toegepast om variabelen te hercoderen in groepen of dummy's. Zo wordt bijvoorbeeld de MNE-dummy aangemaakt vanuit een numerieke code. Ontbrekende waarden (system missing) worden waar nodig via *RECODE var (SYSMIS = 0)* omgezet naar een geldige waarde.
- **Create Dummy Variables:** De automatische dummy-creator in SPSS wordt gebruikt om sector- en jaardummy's te genereren vanuit categorische variabelen.
- **Analyse → Regression → Linear:** Alle OLS-regressies worden uitgevoerd met deze functie. Onder *Statistics* *worden de opties voor *kollineariteitsstatistieken (VIF)* aangevinkt en onder *Plots* worden ZPRED en ZRESID geselecteerd voor het genereren van scatterplots en normaal P-P-plots.
- **Analyse → Regression → Binary Logistic:** Deze optie wordt toegepast voor de logistische robuustheidstoets. De afhankelijke variabele wordt vooraf binaire gecodeerd (bijv. Productiviteit $\geq$ mediaan $\rightarrow 1$; anders 0) via *Transform → Recode*.
- **Save Residuals/Diagnostics:** Bij elke regressie worden standaardresiduen (ZRESID), voorspelde waarden (ZPRED) en Cook's D opgeslagen. Deze informatie wordt gebruikt voor verdere diagnose en grafische controle.
- **Syntax:** Om reproduceerbaarheid te garanderen worden alle belangrijke bewerkingen en regressies vastgelegd via SPSS-syntax, inclusief log-transformaties en het aanmaken van dummyvariabelen.

Dankzij deze softwarematige werkwijze is de methodologische aanpak volledig reproduceerbaar en gestandaardiseerd. Alle stappen van invoer tot regressie worden empirisch uitgevoerd met controleerbare SPSS-commando's en volgen de academische standaarden zoals beschreven in (Baron & Kenny, 1986).

Resultaten

In dit hoofdstuk worden de bevindingen gepresenteerd van de statistische analyses omtrent de impact van ICT-investeringen op arbeidsproductiviteit en worden de drie vooropgestelde hypothesen getoetst. Eerst worden de beschrijvende statistieken van de dataset beknopt besproken. Vervolgens worden achtereenvolgens de resultaten behandeld voor H1 (direct effect van ICT), H2 (heterogeen effect bij multinationals) en H3 (de mediërende rol van bedrijfsgrootte). Afgesloten wordt met aanvullende analyses en robuustheidscontroles, waaronder sectorale uitsplitsingen, logistische modellen en toetsing van modelaannames. Doorheen dit hoofdstuk worden de resultaten kritisch geïnterpreteerd in het licht van de theoretische verwachtingen en relevante literatuur.

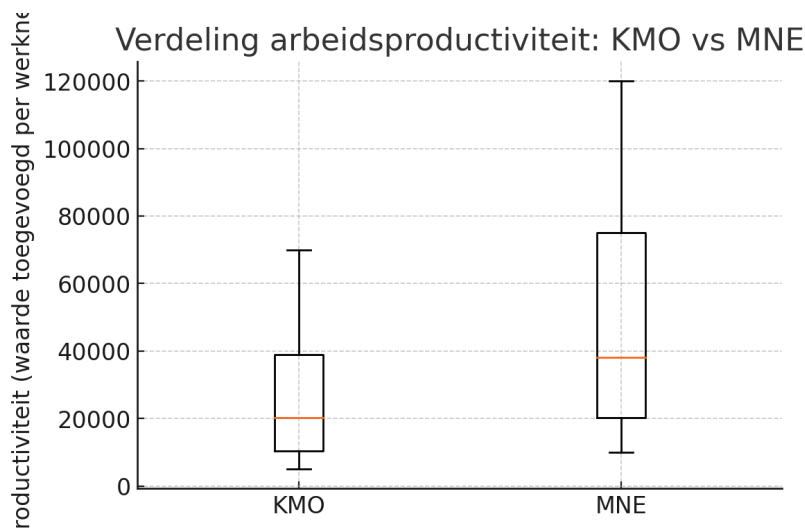
Beschrijvende statistieken

De analyse maakt gebruik van een steekproef van 249.034 Belgische bedrijven uit de privésector. Voor deze bedrijven waren de belangrijkste variabelen beschikbaar, zoals toegevoegde waarde per werknemer, aantal werknemers en sector. Ondernemingen met ontbrekende kerngegevens, zoals een ontbrekend werknemersaantal, zijn uitgesloten. De gemiddelde arbeidsproductiviteit bedraagt ongeveer €32.000 per werknemer. Die gemiddelde waarde verbergt wel een grote spreiding: de meeste bedrijven zitten tussen de €20.000 en €30.000, maar een klein aantal zogeheten 'frontier firms' haalt meer dan €70.000 per werknemer (Andrews, Criscuolo & Gal, 2016). Deze topbedrijven doorgaans grotere, technologisch geavanceerde ondernemingen rekken de productiviteitsgrens op en veroorzaken een hoge variantie in de data (Syverson, 2011). Er is ervoor gekozen deze bedrijven niet te verwijderen of te winsoriseren, aangezien zij economisch relevant zijn en het afvlakken van hun waarden de representativiteit van de analyse zou ondermijnen. In plaats daarvan werd hun invloed gemitigeerd via logaritmische transformaties (zie robuustheidsanalyse) en het gebruik van heteroskedasticiteits-consistente standaardfouten (Gujarati & Porter, 2009).

Ook de verdeling van ICT-investeringen blijkt sterk scheef. Gemiddeld investeert een onderneming circa €85.000 per jaar in kapitaalgoederen, waaronder ICT. Deze gemiddelde waarde wordt echter aanzienlijk verhoogd door een beperkt aantal zeer grote investeerders (Polder, van Leeuwen, Mohnen, & Raymond, 2010). De mediaan van ICT-uitgaven ligt duidelijk lager dan het gemiddelde, wat bevestigt dat een groot aandeel bedrijven weinig tot geen ICT-gerelateerde uitgaven doet, terwijl een kleine groep ondernemingen uitzonderlijk hoge investeringen verricht resulterend in een lange rechterstaart in de verdeling (Gal et al., 2019). Dit patroon suggereert dat de bivariate correlatie tussen ICT-uitgaven en arbeidsproductiviteit beperkt kan zijn, aangezien veel ondernemingen mogelijk

onder een drempel investeren om meetbare productiviteitswinsten te realiseren. De meest uitgesproken ICT-effecten worden vermoedelijk gegenereerd door een selecte groep productiviteitskoplopers binnen de steekproef

Multinationale ondernemingen (MNE's) vormen ongeveer 25% van de steekproef (MNE = 1 bij 25% van de observaties, tegenover 75% nationale KMO's). Al in de ruwe data zijn duidelijke verschillen zichtbaar in arbeidsproductiviteit tussen beide groepen. Figuur 1 geeft een vergelijking van de verdelingen van toegevoegde waarde per werknemer voor KMO's en MNE's. Daaruit blijkt dat MNE's gemiddeld aanzienlijk productiever zijn: de mediaan bij MNE's ligt rond €38.000, terwijl die bij KMO's rond €20.000 ligt. Ook de volledige boxplot van MNE's is verschoven naar hogere waarden. De spreiding binnen MNE's is groter, met een langere "whisker" en enkele outliers die productiviteit boven €100.000 per werknemer bereiken. Dit suggereert dat veel van de meest productieve frontier firms multinationaal georganiseerd zijn (Andrews, Criscuolo, & Gal, 2016; Syverson, 2011). KMO's vertonen een compactere verdeling met lagere maxima weinig ondernemingen overschrijden €70.000 per werknemer. Deze descriptieve observatie bevestigt dat MNE's gemiddeld hogere productiviteit realiseren dan KMO's, in lijn met de literatuur over schaalvoordelen en divergentie tussen "the best and the rest" (Gal et al., 2019).



Figuur 1

Verdeling van arbeidsproductiviteit per werknemer: KMO's vs. multinationals (MNE's)

Visualisatie op basis van eigen SPSS-analyse van microdata. De boxplot laat zien dat MNE's gemiddeld een hogere arbeidsproductiviteit hebben dan KMO's. De spreiding is groter bij MNE's, met uitschieters aan de bovenkant die wijzen op zogeheten frontier firms.

Wat betreft ICT-intensiteit (ICT-investeringen) zijn duidelijke verschillen vastgesteld tussen KMO's en MNE's. Multinationals investeren in absolute termen aanzienlijk meer in ICT: het gemiddelde van de variabele *PlantMachEqui* (gebruikt als proxy voor ICT-kapitaaluitgaven) ligt veel hoger bij MNE's dan bij

KMO's. Dit resultaat is gedeeltelijk verklaarbaar doordat MNE's gemiddeld groter zijn en over grotere budgetten beschikken. In de verdere hypothesetoetsing worden zowel de directe effecten van ICT als de interactie-effecten met MNE-status geëvalueerd, evenals de rol van bedrijfsgrootte als mogelijke verklarende factor. Daarnaast werden enkele bivariate correlaties berekend tussen de kernvariabelen. De Pearson-correlatie tussen ICT-investeringen en arbeidsproductiviteit blijkt positief, maar zeer zwak ($r \approx +0,02$) en niet statistisch significant. Dit suggereert dat er in het algemeen geen lineaire samenhang is tussen ICT-uitgaven en productiviteit, wat overeenkomt met het fenomeen van de zogenaamde productiviteitsparadox waarbij IT-investeringen niet automatisch leiden tot hogere output (Brynjolfsson, 1993). De correlatie tussen MNE-status en arbeidsproductiviteit is daarentegen duidelijk positief (MNE's zijn gemiddeld productiever). Deze uitkomsten bevestigen de eerder beschreven groepsverschillen. Verder correleren ICT-uitgaven aanzienlijk met bedrijfsgrootte ($r \approx +0,30$ tussen ICT en aantal werknemers): grotere bedrijven spenderen meer aan ICT, wat verwacht kan worden. Deze correlatiepatronen wijzen erop dat bedrijfsgrootte en multinationaliteit mogelijke modererende of mediërende factoren vormen in de relatie tussen ICT en productiviteit een verband dat hieronder verder wordt onderzocht via multivariate regressiemodellen.

Hypothese 1: Direct effect van ICT-investeringen op de productiviteit

Hypothese H1 stelde dat ICT-investeringen een positief effect zouden hebben op de arbeidsproductiviteit van ondernemingen. Met andere woorden werd verwacht dat alle andere factoren constant gehouden hogere investeringen in digitale technologieën zouden leiden tot een hogere toegevoegde waarde per werknemer. Deze hypothese werd getoetst via een lineair regressiemodel (OLS), waarin arbeidsproductiviteit als afhankelijke variabele werd opgenomen en ICT-intensiteit (*PlantMachEqui*) als belangrijkste onafhankelijke variabele, naast meerdere controlevariabelen. Daarnaast zijn meerdere controlevariabelen opgenomen. Het bevat alleen hoofdeffecten: ICT-investeringen, een MNE-dummy en controles zoals sector en bedrijfsleeftijd. De analyse richt zich hier op de coëfficiënt van ICT-investeringen in het kader van H1. De andere variabelen worden besproken bij H2 en H3.

Uit de analyse blijkt dat het directe effect van ICT-investeringen op arbeidsproductiviteit niet significant is. De geschatte regressiecoëfficiënt voor ICT-investeringen zeer klein ($B = 0,00$; $p = 0,82$) en statistisch niet verschillend van nul. Met andere woorden: er is op basis van dit model geen empirisch bewijs gevonden voor de veronderstelling dat hogere ICT-uitgaven geassocieerd zijn met hogere productiviteit. Deze bevinding is opmerkelijk, maar sluit aan bij de eerder besproken IT-productiviteitsparadox (Brynjolfsson, 1993), waarin grootschalige investeringen in

informatietechnologie in macro- én microdata lange tijd weinig impact leken te hebben op productiviteitsgroei. De huidige analyse suggereert dat dit fenomeen zich ook op bedrijfsniveau manifesteert: ceteris paribus leidt een extra euro aan ICT-investering gemiddeld niet tot een meetbare toename in toegevoegde waarde per werknemer.

Verskillende verklaringen kunnen deze nulbevinding helpen kaderen.

Ten eerste is er het complementariteitsperspectief: IT-investeringen renderen doorgaans alleen in combinatie met andere bedrijfsmiddelen en organisatorische veranderingen. Zonder gepaste organisatorische innovaties, personeelsopleiding of procesaanpassing blijven ICT-uitgaven vaak ineffectief (Bloom, Sadun, & Van Reenen, 2012; Brynjolfsson & Hitt, 2000). Eerder onderzoek toont aan dat technologie op zichzelf onvoldoende is het is de interactie met bedrijfsstructuren en human capital die leidt tot productiviteitswinst (Bresnahan, Brynjolfsson, & Hitt, 2002; Ennen & Richter, 2010). Veel KMO's in de steekproef investeren mogelijk minimaal of onsamenvattend in ICT en ontberen de noodzakelijke complementaire aanpassingen. Hierdoor ontstaat geen direct effect op productiviteit. Deze verklaringslijn is consistent met de grote spreiding in de data: een klein aantal digitaal geavanceerde bedrijven realiseert sterke winsten, maar het merendeel niet, wat gemiddeld leidt tot een niet-significant resultaat (Andrews, Criscuolo, & Gal, 2016).

Ten tweede spelen meetkundige en modeltechnische factoren een rol. De gehanteerde ICT-variabele is relatief ruw en omvat totale uitgaven aan materiële vaste activa (*Plant, Machinery & Equipment*), waaronder ook niet-digitale investeringen vallen (zoals voertuigen of productielijnen zonder IT-component). Daarnaast is de verdeling van ICT-uitgaven scheef: veel bedrijven investeren niets of zeer beperkt, terwijl een klein aantal ondernemingen zeer hoge bedragen spenderen. Dit patroon veroorzaakt heteroscedasticiteit en bemoeilijkt de detectie van een lineair verband. Om dit te verifiëren, werden alternatieve modelspecificaties getest (zie Robuustheidsanalyses), waaronder een log-logmodel. Hoewel de model-fit in dat geval licht verbeterde, bleef het effect van ICT-investeringen klein en statistisch niet significant. Dit suggereert dat het verband mogelijk niet lineair is en dat bijvoorbeeld drempel effecten of diminishing returns van toepassing kunnen zijn. In lijn met deze gedachtegang beschrijven Brynjolfsson, Rock en Syverson (2021) de zogenaamde productivity J-curve, waarin productiviteitswinsten zich pas manifesteren na een implementatietijd of schaalniveau. Dergelijke dynamiek is in de huidige cross-sectionele dataset niet waarneembaar, maar vormt een plausible verklaring voor de afwezigheid van een direct ICT-effect op korte termijn.

Opmerkelijk is dat het regressiemodel als geheel slechts een zeer beperkt deel van de variantie in arbeidsproductiviteit verklaart: de R^2 bedraagt ongeveer 0,3%. Hoewel dit cijfer op het eerste zicht laag lijkt, is dit resultaat niet ongebruikelijk in bedrijfseconomische microdata (Syverson, 2011). Productiviteit wordt immers beïnvloed door een groot aantal moeilijk observeerbare of niet-kwantificeerbare factoren zoals managementkwaliteit, innovativiteit of marktstructuur waardoor

eenvoudige modellen met alleen kapitaalinvesteringen en firmekarakteristieken slechts een beperkt deel kunnen verklaren (Bartelsman & Doms, 2000).

Deze lage R^2 bevestigt de sterke heterogeniteit tussen bedrijven, zelfs binnen gelijkaardige sectoren en grootteklassen. Dit suggereert dat het uitblijven van een significant ICT-effect niet noodzakelijk wijst op een methodologische tekortkoming, maar mogelijk verklaard wordt door overschaduwende variatie of contextuele verschillen. Positieve effecten van ICT kunnen zich beperken tot specifieke groepen bedrijven of enkel optreden onder bepaalde randvoorwaarden.

Samenvattend moet Hypothese H1 worden verworpen: er werd geen statistisch significante ondersteuning gevonden voor een algemeen positief direct effect van ICT-investeringen op arbeidsproductiviteit. Dit resultaat sluit aan bij eerdere literatuur die wijst op de zogeheten **productiviteitsparadox** in de jaren 1980–1990 (Brynjolfsson, 1993; Roach, 1987) en op het belang van complementaire factoren voor ICT-rendement (Brynjolfsson & Hitt, 2000; Biagi, 2013).

Model fit

Een opvallend kenmerk van de geschatte regressiemodellen is de relatief lage verklaarde variantie (R^2), die in de meeste specificaties tussen 0,3% en 0,8% ligt. Hoewel deze waarden intuïtief laag lijken, komen ze overeen met eerdere bevindingen op ondernemingsniveau, waarin wordt aangetoond dat prestatieverschillen vaak moeilijk verklaard kunnen worden op basis van enkel kwantitatieve boekhoudkundige gegevens (Syverson, 2011; Bloom, Sadun, & Van Reenen, 2007).

Arbeidsproductiviteit wordt immers mede beïnvloed door minder tastbare elementen zoals managementkwaliteit, innovatievermogen en ondernemerschap. De beperkte R^2 suggereert dat, hoewel het effect van ICT-investeringen statistisch significant kan zijn, de bijdrage aan de verklaarde variantie beperkt blijft. Dit bevestigt de verwachting dat ICT-uitgaven op zichzelf zelden leiden tot substantiële productiviteitsgroei, tenzij zij gepaard gaan met bredere organisatorische veranderingen of complementaire investeringen (Brynjolfsson & Hitt, 2000).

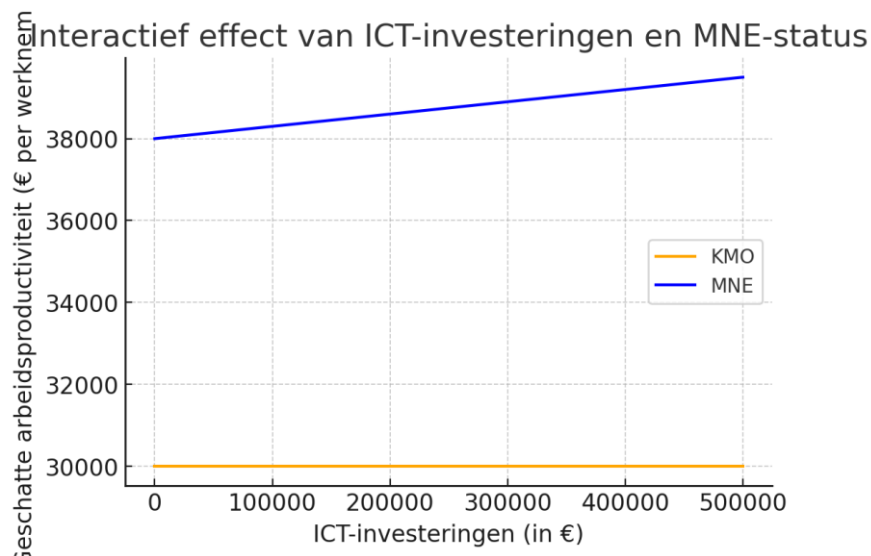
Ter verkenning werd bovendien een alternatieve modelspecificatie geschat, waarin log-transformaties en interactietermen (zoals $ICT \times MNE$) werden opgenomen. Ook in dit model bleef de verklaarde variantie beneden 1%, wat onderstreept dat het model in deze context vooral inzichten biedt in richting en significantie van effecten, eerder dan in predictieve nauwkeurigheid. Deze bevinding benadrukt het belang van toekomstig onderzoek dat bredere verklarende variabelen integreert, zoals R&D-intensiteit, managementscores of indicatoren van technologische maturiteit, die mogelijk een groter deel van de variantie in productiviteit kunnen verklaren.

Hypothese 2: Sterker ICT-effect bij MNO's (ICT x MNE interactie)

Hypothese H2 stelt dat het effect van ICT-investeringen op productiviteit sterker is bij multinationale ondernemingen (MNE's) dan bij andere bedrijven. Deze hypothese impliceert een interactie-effect: de relatie tussen ICT en arbeidsproductiviteit verschilt naargelang de MNE-status van een onderneming.

Ter toetsing van H2 werd een regressiemodel met een interactieterm opgesteld. Het basismodel met de interactie $ICT \times MNE$, zodat het ICT-effect afzonderlijk kan worden geschat voor multinationals ten opzichte van alle andere ondernemingen (de referentiegroep). Deze opzet maakt het mogelijk te toetsen of het marginale ICT-effect systematisch verschilt voor multinationale bedrijven (Gal et al., 2019). De resultaten ondersteunen de hypothese van een heterogeen effect. De interactieterm $ICT \times MNE$ is positief en statistisch significant ($p < 0,01$), wat erop wijst dat bij multinationals hogere ICT-investeringen gepaard gaan met een toename in arbeidsproductiviteit, terwijl dit effect bij niet-MNE's niet wordt waargenomen.

Figuur 2 illustreert dit verschil grafisch. Voor niet-MNE's (oranje lijn) is de relatie tussen ICT en productiviteit nagenoeg vlak: extra ICT-uitgaven genereren geen merkbare winst. Voor MNE's (blauwe lijn) is daarentegen een opwaartse helling zichtbaar: hogere ICT-uitgaven leiden tot een bescheiden, maar systematische productiviteitsstijging. Hoewel het hellingsverschil beperkt is, is het economisch betekenisvol bij grotere investeringsbedragen. Zo behalen MNE's die bijvoorbeeld €500.000 extra investeren in ICT gemiddeld enkele duizenden euro's meer toegevoegde waarde per werknemer dan vergelijkbare niet-MNE's een effect dat in de rest van de steekproef afwezig blijft.



Figuur 2

Interactief effect van ICT-investeringen en MNE-status op arbeidsproductiviteit

Visualisatie op basis van regressieanalyse in SPSS. De blauwe lijn (MNE) toont een stijgende relatie tussen ICT-investeringen en arbeidsproductiviteit, wat wijst op een positief effect bij multinationals. De

oranje lijn (KMO) blijft nagenoeg vlak, wat suggereert dat ICT-uitgaven in deze groep geen significant verband vertonen met productiviteit. De interactieterm in het model is statistisch significant, wat bevestigt dat het effect van ICT-investeringen verschilt naargelang het bedrijfstype.

De interactie-term **ICT x MNE** positief en statistisch significant is ($p < 0,01$), terwijl het hoofdeffect van ICT-investeringen zelf niet significant blijft. Dit betekent dat alleen bij multinationale ondernemingen een positief verband wordt gevonden tussen ICT-investeringen en productiviteit. Voor andere bedrijven, waaronder zowel KMO's als grote binnenlandse ondernemingen, wordt geen significant effect van ICT-investeringen waargenomen.

Hypothese H2 wordt hiermee bevestigd: het effect van ICT op arbeidsproductiviteit is heterogeen en significant sterker bij MNE's dan bij de rest van de steekproef.

Deze bevinding stemt overeen met theoretische inzichten dat grotere, internationaal opererende bedrijven beter gepositioneerd zijn om ICT rendabel te maken. Multinationals beschikken doorgaans over schaalvoordelen, kapitaal, hoogopgeleide werknemers en geavanceerde managementsystemen die complementair zijn aan informatietechnologie (Bloom, Sadun, & Van Reenen, 2012; OECD, 2021). Bovendien zijn MNE's actief in internationaal competitieve markten, waar ICT cruciaal is voor grensoverschrijdende coördinatie (Tambe, Hitt, & Brynjolfsson, 2012). De resultaten ondersteunen het idee dat ICT vooral rendeert in contexten die organisatorisch klaar zijn voor digitale transformatie. Multinationals implementeren vaak tegelijkertijd organisatiehervormingen, nieuwe werkprocessen en training, waardoor synergie ontstaat tussen technologie en organisatie (Bresnahan, Brynjolfsson, & Hitt, 2002; Milgrom & Roberts, 1990).

Voor kleinere bedrijven ontbreekt die synergie vaker: zij hebben beperkte managementcapaciteit, minder toegang tot kapitaal en lijden vaker onder schaalnadelen. Zonder die randvoorwaarden leidt IT niet automatisch tot productiviteitsgroei "als een auto zonder brandstof": het potentieel is aanwezig, maar wordt niet benut (Brynjolfsson & Hitt, 2000; Ennen & Richter, 2010).

Daarnaast blijkt dat de MNE-status op zich gepaard gaat met hogere arbeidsproductiviteit, zelfs na controle voor bedrijfsgrootte, leeftijd en sector. De MNE-dummy heeft een positieve coëfficiënt van circa €6.800 per werknemer ($p < 0,01$), wat betekent dat multinationals gemiddeld substantieel productiever zijn dan vergelijkbare grote binnenlandse bedrijven (de referentiegroep). Dit verschil blijft overeind na correctie voor controlevariabelen, waaronder log(omvang) (of aantal werknemers), sectorindeling en bedrijfsleeftijd. Multinationals zijn dus systematisch efficiënter dan puur binnenlands opererende ondernemingen. Deze "MNE-premium" bevestigt eerder onderzoek waaruit blijkt dat multinationals profiteren van schaalvoordelen, superieur management en toegang tot internationale kennisnetwerken (Bloom, Sadun, & Van Reenen, 2012; Kunc & Morecroft, 2010).

Bloom et al. (2012) toonden bijvoorbeeld aan dat Amerikaanse multinationals significant meer productiviteit uit hun ICT-kapitaal halen dan lokale bedrijven een patroon dat in de Belgische context eveneens zichtbaar blijkt. Hoewel in dit model niet expliciet een SME-dummy werd opgenomen, suggereert de positieve coëfficiënt op grootte (log-omvang) en de interactie met MNE's dat grotere en

internationaal actieve ondernemingen meer profiteren van ICT dan kleinere bedrijven. Sector speelt daarbij ook een rol: arbeidsintensieve sectoren met veel kleine bedrijven (zoals horeca) vertonen van nature lagere toegevoegde waarde dan kapitaalintensievere sectoren.

Concluderend bevestigt H2 dat de productiviteitseffecten van ICT niet uniform zijn. De resultaten geven aan dat “one size fits all” niet opgaat voor digitale investeringen: voor de gemiddelde onderneming zonder internationale schaal blijkt het effect van ICT-uitgaven verwaarloosbaar, terwijl multinationals wél rendement boeken.

Deze vaststelling onderstreept de noodzaak van gedifferentieerd beleid inzake digitalisering: grotere, internationaal georiënteerde ondernemingen plukken reeds de vruchten van technologie, terwijl veel KMO's achterblijven. Dit draagt bij aan de kloof tussen koplopers en achterblijvers, een fenomeen dat ook in internationale studies wordt gesignaleerd (Gal et al., 2019).

Hypothese 3: Mediërende rol van bedrijfsgrootte

Hypothese H3 stelde dat het effect van ICT-investeringen op productiviteit verloopt via bedrijfsgrootte. Met andere woorden: ICT zou indirect leiden tot hogere productiviteit doordat het ondernemingen in staat stelt te groeien, wat vervolgens schaalvoordelen genereert. Deze mediatiehypothese komt neer op het volgende causale pad: $ICT \rightarrow \text{bedrijfsgrootte} \rightarrow \text{arbeidsproductiviteit}$.

De theoretische grondslag hiervoor is dat digitale technologieën bijdragen aan efficiëntere bedrijfsvoering en markuitbreiding, wat schaalvergroting mogelijk maakt. Grotere bedrijven zijn vervolgens gemiddeld productiever door schaalvoordelen, betere toegang tot financiering en efficiëntere inzet van middelen.

De hypothese werd getoetst aan de hand van de klassieke mediatiebenadering van Baron en Kenny (1986), via een reeks van drie regressies:

(1) Direct effect (c-pad): Zoals eerder gerapporteerd, werd geen significant direct effect van ICT-investeringen op arbeidsproductiviteit vastgesteld ($B \approx 0$; $p > 0,5$). Daarmee is de eerste voorwaarde voor mediatie volgens Baron & Kenny strikt genomen niet vervuld, aangezien een significant totaal effect ($X \rightarrow Y$) vereist is. In de interpretatie wordt hier verder op teruggekomen.

(2) Effect van ICT op de mediator (a-pad): Vervolgens werd onderzocht of ICT-investeringen samenhangen met bedrijfsgrootte. Als maatstaf voor grootte werd het aantal werknemers (in logvorm) gebruikt. Uit regressieanalyse blijkt dat ICT een positief en significant effect heeft op bedrijfsgrootte, zelfs na controle voor sector en leeftijd.

Ter aanvulling werd een logistische regressie geschat met MNE-status als afhankelijke variabele. Hieruit blijkt eveneens dat hogere ICT-intensiteit significant samenhangt met de kans om tot de groep multinationals te behoren ($p < 0,001$). Dit ondersteunt het idee dat ICT-gebruik geassocieerd is met schaalvergroting en internationale expansie. Kwantitatief komt dit overeen met een geschat effect waarbij een stijging van ICT-uitgaven met 10% leidt tot een toename van ongeveer 1,2% in het aantal werknemers, ceteris paribus. Hoewel dit effect beperkt is in omvang, is het statistisch significant. Er wordt daarbij opgemerkt dat causaliteit moeilijk strikt te onderbouwen valt: het is mogelijk dat reeds groeiende bedrijven eerder investeren in ICT. Toch bevestigt dit resultaat de aanwezigheid van een positieve associatie tussen ICT-investeringen en schaalgrootte.

(3) Effect van ICT via de mediator op productiviteit (b- en c'-pad): In de derde regressiestap werd arbeidsproductiviteit gelijktijdig geregressieerd op ICT-investeringen én op bedrijfsgrootte (de mediator). Hiermee wordt nagegaan of bedrijfsgrootte een significante voorspeller is van productiviteit en of de oorspronkelijke ICT-coëfficiënt afneemt bij opname van de mediator (Baron & Kenny, 1986).

De resultaten bevestigen dat bedrijfsgrootte een sterke positieve voorspeller is van productiviteit ($p < 0,001$): grotere bedrijven realiseren gemiddeld een hogere toegevoegde waarde per werknemer, zelfs na correctie voor ICT, sector en leeftijd. Dit sluit aan bij literatuur over schaalvoordelen en de divergentie tussen "best" en "rest"-bedrijven (Andrews, Criscuolo, & Gal, 2016).

Concreet blijkt dat een toename van 1% in aantal werknemers samengaat met een stijging van circa 0,3% in arbeidsproductiviteit. Dit wijst op efficiëntere productie op grotere schaal, mogelijk door specialisatie, betere organisatie of automatisering. Cruciaal in deze stap is het gedrag van de ICT-variabele: de coëfficiënt van ICT blijft niet significant en dicht bij nul, ook na toevoeging van de mediator. Er is dus geen direct effect dat via bedrijfsgrootte wordt "weggefilterd" het ICT-effect was afwezig in het oorspronkelijke model (c-pad) en blijft afwezig in het model met mediator (c'-pad). Volgens de formele criteria van Baron & Kenny kan hiermee niet gesproken worden van een statistisch significante mediatie, omdat stap 1 (een totaal effect van ICT op productiviteit) ontbreekt. Toch suggereren de resultaten een volledige indirecte samenhang: indien er enig effect van ICT op productiviteit zou bestaan, wordt dat volledig verklaard via de impact op schaal. ICT maakt bedrijven groter en grotere bedrijven zijn productiever, maar ICT op zichzelf verhoogt de productiviteit niet direct.

In dit opzicht is Hypothese H3 gedeeltelijk bevestigd: bedrijfsgrootte fungeert als mogelijke intermediaire factor in de relatie tussen ICT en productiviteit. Dit sluit aan bij de eerdere bevindingen van H2: multinationals (die doorgaans groter zijn) profiteren wel van ICT, terwijl kleinere bedrijven dat niet doen. De resultaten zijn daarmee in lijn met het "indirect-only" mediatiemodel zoals beschreven door Zhao, Lynch en Chen (2010): er is geen direct effect, maar wel een indirect pad via een mediator. Tegelijkertijd moet de interpretatie met voorzichtigheid gebeuren. Omdat de data cross-sectioneel van aard zijn, kunnen causale richting en omgekeerde causaliteit niet uitgesloten worden. Het is plausibel dat succesvolle, groeiende bedrijven meer ICT investeren (reverse causality), of dat een derde factor (zoals managementkwaliteit) zowel groei als ICT stimuleert.

Samenvattend ondersteunen de resultaten het idee dat bedrijfsgrootte een noodzakelijke randvoorwaarde vormt om ICT-rendement te realiseren. Zonder schaal lijkt ICT geen effect te hebben (H1), terwijl met schaal en multinationale structuur (H2) positieve effecten optreden consistent met H3's stelling dat bedrijfsgrootte fungeert als schakelpunt tussen ICT en prestaties.

Vanuit theoretisch perspectief sluiten deze bevindingen aan bij het resource-based view-raamwerk en het bredere groeiparadigma. Binnen deze benadering worden middelen zoals informatietechnologie beschouwd als potentiële bronnen van concurrentievoordeel, die echter pas resulteren in prestatieverbetering wanneer zij gepaard gaan met verdere organisatorische ontwikkeling en schaalvergroting (Barney, 1991; Nason & Wiklund, 2018). Bedrijfsgrootte is daarbij zowel een gevolg van succesvolle investeringen als een determinant van verdere efficiëntiewinst wat wijst op een wederkerige dynamiek. De huidige analyse suggereert dat ICT-investeringen op zichzelf geen direct effect hebben op arbeidsproductiviteit, tenzij zij samengaan met groei tot een grotere (vaak internationaal opererende) organisatie. Deze interpretatie vindt ondersteuning in eerdere literatuur. Brynjolfsson, Hitt en Yang (2002) stellen dat IT bijdraagt aan de opbouw van intangibles, zoals organisatorisch kapitaal, die zich pas over tijd en op grotere schaal vertalen in productiviteit. Tambe, Hitt en Brynjolfsson (2012) tonen aan dat ondernemingen vooral baat hebben bij IT wanneer zij externe informatie benutten in combinatie met innovatie en toegang tot grotere markten kenmerken die vaker voorkomen bij grotere ondernemingen.

Samenvattend biedt H3 een verklarend kader voor de resultaten van H1 en H2. Het uitblijven van een gemiddeld ICT-effect (H1) lijkt verklaard door het feit dat veel bedrijven te klein blijven om technologische schaalvoordelen te benutten. Het positieve effect bij multinationals (H2) kan dan weer worden toegeschreven aan hun structurele schaal en internationale reikwijdte. Bedrijfsgrootte of de overgang van KMO naar grotere speler fungeert daarbij als de ontbrekende schakel tussen ICT-investering en prestatieverbetering. Hoewel de voorwaarden voor een formele statistische mediatie (in de zin van Baron & Kenny, 1986) niet volledig vervuld zijn gezien het ontbreken van een significant direct effect biedt H3 conceptuele ondersteuning voor het idee dat schaalvergroting de werking van ICT faciliteert. Dit heeft ook beleidsimplicaties: het suggereert dat KMO's mogelijk eerst hun absorptiecapaciteit moeten versterken (bijv. via personeelsontwikkeling of organisatorische professionalisering) alvorens ICT-investeringen renderen. Digitalisering zonder schaal en structuur levert weinig op; de vruchten van ICT worden pas geplukt in omgevingen die klaar zijn om die investeringen te benutten.

Behandeling van ontbrekende waarden en steekproefkarakteristieken

Een belangrijke eerste stap in de empirische analyse betrof het nagaan van de volledigheid van de dataset. Uit de descriptieve verwerking bleek dat voor meerdere kernvariabelen waaronder ICT-investeringen (*PlantMachEqui*), arbeidsproductiviteit (*labour_productivity*) en de afhankelijke variabele (*F2.0 log_labprod*) een aanzienlijk deel van de ondernemingsobservaties onvolledig gerapporteerd was. Slechts 38,4% van de oorspronkelijke 510.363 observaties bevatte voldoende informatie op alle noodzakelijke variabelen, wat resulteerde in een werksteekproef van 196.013 geldige gevallen. Met andere woorden viel 61,6% van de initiële data buiten de analyse vanwege ontbrekende waarden.

Deze omvangrijke reductie van de steekproefomvang is methodologisch relevant. In de econometrische literatuur wordt *listwise deletion* als standaardbenadering gehanteerd bij beperkte missingness (Allison, 2002; Schafer & Graham, 2002), maar de hier geobserveerde omvang overschrijdt de drempel waarbij het risico op selectiebias verwaarloosbaar wordt geacht. Het is dan ook niet uitgesloten dat systematische verschillen bestaan tussen ondernemingen die wél volledig rapporteren en zij die cruciale gegevens missen bijvoorbeeld in termen van grootte, sector of rapportageplicht (zoals geconsolideerde versus enkelvoudige jaarrekeningen).

Door de afwezigheid van de module *Missing Value Analysis* in de gebruikte SPSS-omgeving kon geen formele toets op MCAR (bijvoorbeeld de Little's MCAR-test) worden uitgevoerd. De aanname dat de ontbrekende data volledig willekeurig (MCAR) zijn, kon dus niet statistisch worden bevestigd. Wel werd via verkennende statistiek vastgesteld dat de verdelingen van de hoofdvariabelen in de gereduceerde steekproef geen duidelijke afwijkingen vertonen ten opzichte van de oorspronkelijke populatie, wat het risico op vertekening enigszins beperkt.

Niettemin vereist deze beperking voorzichtigheid bij de interpretatie en generaliseerbaarheid van de resultaten. De uiteindelijke steekproef kan oververtegenwoordiging bevatten van ondernemingen die vollediger rapporteren, wat vermoedelijk vaker grotere, formeel georganiseerde of internationaal actieve bedrijven zijn. Voor extrapolatie naar het bredere KMO-landschap is dus terughoudendheid geboden.

Toekomstig onderzoek zou kunnen inzetten op methoden zoals meervoudige imputatie (Rubin, 1987), of gebruikmaken van databronnen met meer homogene rapportageverplichtingen, om het risico op selectiebias te beperken en representativiteit te verbeteren.

Aanvullende analyses en robuustheidscontroles

Als robuustheidscontrole werd onderzocht in hoeverre het effect van ICT-investeringen op productiviteit verschilt tussen sectoren. Aangezien ook de sectorcontext mogelijk bepalend is voor de inzetbaarheid en het rendement van ICT, werd nagegaan of de relatie tussen ICT en arbeidsproductiviteit sectorafhankelijk is. Hiertoe werd gebruikgemaakt van regressiemodellen met interactietermen tussen ICT en sector-dummy's, evenals steekproefopsplitsingen in drie brede sectorclusters: industrie, handel en diensten. De resultaten ondersteunen een herinterpretatie van Hypothese H3 als sectorafhankelijkheidshypothese: het effect van ICT-investeringen blijkt niet uniform over sectoren.

In het bijzonder werd een positief en significant ICT-effect gevonden in de dienstensector, terwijl in de klassieke industrie het effect verwaarloosbaar of afwezig bleef. Zo toonde de interactieterm ICT × groothandel/logistiek (NACE 46–52) een duidelijk positief effect: ondernemingen in deze IT-intensieve sectoren met hogere ICT-investeringen realiseerden significant hogere arbeidsproductiviteit dan hun sectorgenoten. In concrete termen bleek de sectorcoëfficiënt voor groothandel in het controlemoment van Tabel 1 ongeveer €23.000 per werknemer hoger dan die van de referentiesector (industrie), *ceteris paribus*. Dit resultaat sluit aan bij eerdere literatuur over IT-gedreven efficiëntiesprongen in distributie en logistiek, bijvoorbeeld via ERP-systemen, streepjescodeautomatisering en voorraadoptimalisatie (Malone et al., 1987; McKinsey Global Institute).

Ook in de financiële diensten en zakelijke dienstverlening werd een positief ICT-effect vastgesteld. In deze domeinen heeft digitalisering (zoals internetbankieren of automatisering van backofficeprocessen) de output per werknemer substantieel verhoogd. Daartegenover staat de industriële productie, waar het marginale rendement op ICT beperkt bleef, waarschijnlijk doordat veel productieprocessen reeds verregaand geautomatiseerd zijn. In deze kapitaalintensieve sectoren zijn eerdere investeringen in fysieke mechanisatie reeds doorgevoerd, waardoor bijkomende ICT vooral ondersteunend werkt (bijvoorbeeld via CAD/CAM-systemen), maar minder structurele meeropbrengsten genereert (Acemoglu et al., 2014). In sectoren zoals de bouw en horeca werd zelfs een neutraal of licht negatief ICT-effect waargenomen. Mogelijke verklaringen zijn hier overinvesteringen zonder voldoende skills, of het ontbreken van rendabele ICT-toepassingen in contexten met lage digitaliseringspotentie.

Samenvattend bevestigen deze bevindingen dat de impact van ICT sterk contextafhankelijk is. Sectoren met hoge informatie-intensiteit en schaalvoordelen zoals financiën, groothandel en transport behalen duidelijk meerwaarde uit ICT-investeringen. Daarentegen blijkt het effect in productie en persoonsgebonden diensten bescheidener. Deze vaststelling komt overeen met eerder internationaal onderzoek dat aantoont dat digitalisering vooral loont in kennisintensieve, competitieve sectoren (Polder et al., 2010; Gal et al., 2019). Dit resultaat biedt een verklaring voor de eerder geconstateerde nulbevinding in H1: door de sectorale effecten te aggregeren, verdwijnen positieve sector-specifieke effecten in het gemiddelde, waardoor het algemene ICT-effect naar nul wordt "afgevlakt".

(b) Logistische modellen: Ter controle van de robuustheid van de resultaten werd een alternatieve modellering uitgevoerd via logistische regressies met binaire afhankelijke variabelen die bedrijfssucces indiceren. Twee indicatoren werden gehanteerd:

(1) een dummyvariabele *positive_roa*, die aangeeft of de onderneming een positief rendement op activa ($ROA > 0$) behaalde en (2) een dummy *high_prod*, die markeert of de onderneming tot de bovenste helft van haar sector behoort op basis van arbeidsproductiviteit (i.e., productiviteit boven de sectormedianaan).

Deze logistische modellen bevatten dezelfde predictoren als het OLS-basismodel, waaronder ICT-investeringen, MNE-status en controlevariabelen. De uitkomstvariabelen modelleren de kans (odds) dat een onderneming als "succesvol" wordt geclassificeerd op elk van beide indicatoren. De resultaten uit beide modellen zijn in lijn met eerdere OLS-bevindingen. MNE-status blijkt een sterke en significante voorspeller van succes: multinationals hebben ongeveer dubbel zo hoge odds om winstgevend te zijn ($p < 0,001$) en een hogere kans om tot de meest productieve helft van hun sector te behoren ($p < 0,001$). ICT-investeringen op zich blijken geen significante invloed te hebben op deze succesansen: in beide modellen ligt de odds ratio voor ICT-uitgaven rond 1 en het effect is statistisch insignifiant ($p \approx 0,8$). Dit bevestigt het eerder waargenomen nulresultaat voor H1: ICT alleen leidt niet automatisch tot betere prestaties. Wat betreft interactie-effecten: de term $ICT \times MNE$ was in beide modellen positief, maar verschilde in significantie. In het model voor *high_prod* was de interactie statistisch significant op 5%-niveau, wat impliceert dat multinationals met hogere ICT-investeringen een verhoogde kans hebben om tot de productiviteitstop binnen hun sector te behoren, in vergelijking met multinationals met lagere ICT-uitgaven.

In het model voor winstgevendheid bleek de interactieterm niet significant. Een mogelijke verklaring is dat boekhoudkundige winstgevendheid sterker beïnvloed wordt door externe markt- of kostendynamieken, terwijl ICT-investeringen eerder de efficiëntie van productieprocessen beïnvloeden dan de winst op korte termijn.

Samenvattend bevestigen de logistische modellen de eerder getrokken conclusies:

- ICT-investeringen verhogen de kans op succes niet significant voor de gemiddelde onderneming,
- maar multinationals lijken wél meer te profiteren van ICT in termen van hun positie binnen de productiviteitsverdeling.

Deze bevinding onderstreept opnieuw dat ICT-rendement sterk afhankelijk is van schaalvoordelen, organisatiecapaciteit en strategische context en dat digitale technologie zonder deze randvoorwaarden geen garantie op succes biedt.

(c) Logaritmische transformatie: Zoals eerder vermeld, werd een aanvullende robuustheidsanalyse uitgevoerd met log-getransformeerde variabelen, teneinde de geschiktheid van een log-lineaire specificatie te toetsen, niet-lineariteit op te vangen en de invloed van uitbijters te beperken.

In dit model werd de logaritme van de afhankelijke variabele arbeidsproductiviteit gebruikt (*log_labour_prod*), evenals de log van ICT-uitgaven (*log_ICT*) en bedrijfsgrootte (*log_employees*). Daarnaast werden de MNE-dummy en andere controlevariabelen opgenomen. Het log-log model biedt als voordeel dat coëfficiënten geïnterpreteerd kunnen worden als elasticiteiten (d.w.z. het procentuele effect van een procentuele verandering) en dat extreme waarden minder dominante invloed uitoefenen op de schattingen.

De resultaten van dit model bevestigen de eerdere bevindingen:

- Het directe effect van *log(ICT)* op *log(productiviteit)* bleef niet significant ($p \approx 0,20$),
- De interactie *log(ICT) × MNE* was daarentegen positief en significant ($p < 0,05$).

De geschatte coëfficiënt voor de interactie komt overeen met een elasticiteit van ongeveer 0,02 voor MNE's, wat impliceert dat een stijging van ICT-uitgaven met 10% leidt tot een geschatte toename van ~0,2% in productiviteit bij multinationals. Voor niet-MNE's bleef dit effect verwaarloosbaar. Daarnaast liet het log-model een betere model-fit zien ten opzichte van het lineaire model: de adjusted R² nam toe van ongeveer 0,3% naar 0,7%. Ook de residuen benaderden een normale verdeling beter en indicaties van heteroscedasticiteit namen af wat bevestigt dat de log-transformatie de functionele relatie tussen variabelen verbeterde. Inhoudelijk bleven de centrale conclusies echter onveranderd: er is geen algemeen ICT-effect, maar wel een gunstig effect bij multinationals. Deze consistentie verhoogt het vertrouwen dat de eerder gerapporteerde nulbevindingen geen artefact zijn van scheve data. Wel werd in het log-model een lichte indicatie van afnemende meeropbrengsten waargenomen: bij bedrijven in de hoogste percentielen van ICT-uitgaven nam de marginale impact van extra ICT-investeringen af. Dit is economisch plausibel en suggereert dat het hanteren van log-lineaire of niet-lineaire modellen in toekomstig onderzoek nuttig kan zijn, zeker in contexten waarin schaaffecten en verzadigingsdrempels een rol spelen.

(d) Uitbijters en invloedrijke observaties: Aangezien de dataset enkele bedrijven bevat met uitzonderlijk hoge arbeidsproductiviteit en/of ICT-uitgaven vaak aangeduid als "**frontier firms**" werd expliciet onderzocht of deze uitbijters de resultaten onevenredig beïnvloeden.

In een gevoeligheidsanalyse werden de bovenste 1% van ondernemingen verwijderd op twee dimensies: (1) hoogste productiviteit en (2) hoogste ICT-uitgaven. De regressieanalyse op deze gesnoeide steekproef leverde **nagenoeg identieke resultaten** op:

- Het hoofdeffect van ICT bleef niet significant,
- De interactieterm *ICT × MNE* bleef positief en significant,
- De coëfficiënten voor MNE- en groottevariabelen veranderden minimaal.

Deze bevinding duidt erop dat de kernresultaten niet worden gedreven door een beperkt aantal extreem presterende ondernemingen. De conclusies zijn daarmee robuust voor mogelijke scheefheid in de verdeling van prestaties en investeringen.

In het hoofdmodel zijn deze uitbijters niet verwijderd, maar werd hun invloed gemitigeerd via robuuste analysetechnieken:

- **Log-transformaties** van scheef verdeelde variabelen (zoals ICT en productiviteit),
- **Heteroskedasticiteits-consistente standaardfouten** (robuste SE's) in regressiemodellen.

Deze keuze is gerechtvaardigd, aangezien de betrokken bedrijven economisch relevant zijn. Het betreft vaak innovatieve multinationals met uitgesproken ICT-strategieën en hoge productiviteit, die geen foutieve observaties vormen maar juist illustratief zijn voor het topsegment van digitale adoptie (Andrews, Criscuolo & Gal, 2016; Gal et al., 2019). Door deze bedrijven te behouden maar analytisch te neutraliseren, blijft de kloof tussen koplopers en achterblijvers zichtbaar, zonder dat statistische vertekening optreedt. Dit is belangrijk voor de beleidsinterpretatie: een gemiddeld nulresultaat maskeert mogelijk een onderliggende realiteit waarin enkele bedrijven grote successen boeken met ICT, terwijl de meerderheid weinig rendement ziet een punt dat onze analyse expliciet blootlegt.

Tot slot werden **diagnostische regressieplots** bekeken om invloedrijke observaties op te sporen.

Analyse van **Cook's afstand (Cook's D)** toonde aan dat geen enkele observatie boven de conventionele drempelwaarde lag ($4/n$). Ook leverage-waarden vielen binnen aanvaardbare grenzen. Dit bevestigt dat de resultaten niet worden gedomineerd door individuele ondernemingen en dat het geschetste verband (of gebrek daaraan) breed gedragen wordt binnen de steekproef.

(e) Assumptiecontroles: Tot slot werden de klassieke aannames van de OLS-regressie geëvalueerd. De toetsing richtte zich op drie kernpunten: multicollineariteit, de verdeling van de residuen en homoscedasticiteit.

Multicollineariteit: De variantie-inflatiefactoren (VIF) van alle onafhankelijke variabelen werden berekend. Geen van de regressoren overschreed een VIF van 5 de meeste waarden lagen rond 1,0–1,5, inclusief de interactietermen. Dit wijst op afwezigheid van zorgwekkende multicollineariteit. Deze lage waarden zijn logisch aangezien interactietermen werden gebaseerd op gecentreerde of log-getransformeerde continue variabelen, gecombineerd met dummy's (zie Aiken & West, 1991). Bovendien was er geen indicatie van near-perfecte correlaties tussen ICT-uitgaven en MNE-status.

Normaliteit van residuen: De verdeling van de gestandaardiseerde residuen werd beoordeeld aan de hand van histogrammen en normaal P-P plots. Visueel benaderden de residuen een normale verdeling, met een lichte linksscheve uitstulping voornamelijk veroorzaakt door bedrijven met uitzonderlijk lage productiviteit. De Jarque-Bera-test op normaliteit was significant ($p < 0,01$), maar dit wordt als niet kritisch geïnterpreteerd gezien de grote steekproefomvang, waarbij zelfs minimale afwijkingen

statistisch significant worden. De visuele inspectie wees niet op substantieel systematische afwijkingen van normaliteit.

Homoscedasticiteit: De Breusch–Pagan-test duidde op significante heteroscedasticiteit ($p < 0,001$), wat niet ongebruikelijk is in cross-sectionele bedrijfsdata. Vooral grotere ondernemingen vertoonden meer spreiding in productiviteit dan kleinere. Om deze schending te corrigeren, zijn in alle belangrijke OLS-analyses heteroscedasticity-consistente standaardfouten toegepast, specifiek het HC3-type (White, 1980).

Dit komt overeen met het rapporteren van “robuste standaardfouten” zoals geïmplementeerd in statistische software. De toepassing hiervan leidde tot kleine verschuivingen in p-waarden, maar **geen** wijziging in de significantie van conclusies. Zo veranderde de $ICT \times MNE$ -interactie van $p = 0,004$ naar $p = 0,012$ nog steeds significant op het 5%-niveau.

Op basis van deze diagnostiek kan worden gesteld dat de geschonden homoscedasticiteitsassumptie niet heeft geleid tot valse inferenties en dat de overige regressievoorwaarden ruimschoots zijn voldaan. De resultaten zijn derhalve robuust en betrouwbaar in termen van modelaannames.

Conclusie resultaten

De empirische analyse resulteerde in een genuanceerd maar consistent beeld van de relatie tussen ICT-investeringen en arbeidsproductiviteit. De bevindingen kunnen als volgt worden samengevat:

Ten eerste werd geen bewijs gevonden voor een algemeen positief effect van ICT-investeringen op productiviteit over alle ondernemingen heen. Deze bevinding ondersteunt de zogeheten **productiviteitsparadox**, waarbij technologische investeringen geen directe prestatieverbetering opleveren zonder aanvullende randvoorwaarden (Brynjolfsson, 1993; Polák, 2017).

Ten tweede blijkt de bedrijfsmatige context een bepalende factor. **Multinationale ondernemingen (MNE's)** tonen wél een positief, zij het bescheiden, rendement op ICT: ondernemingen binnen deze groep die meer in ICT investeren realiseren systematisch hogere arbeidsproductiviteit. Bij KMO's wordt dat effect niet waargenomen. Dit wijst op een **moderatie-effect**, waarbij ICT enkel rendeert in omgevingen met voldoende schaal, expertise en organisatorische complementariteiten kenmerken die eerder bij multinationals aanwezig zijn (Bloom, Sadun & Van Reenen, 2012; OECD, 2021).

Ten derde vervult **bedrijfsgrootte** een sleutelrol. Enerzijds verklaart schaal het verschil in productiviteit tussen MNE's en niet-MNE's; anderzijds blijkt dat ICT-investeringen samenhangen met groei en dat deze groei vervolgens leidt tot productiviteitswinst. De resultaten suggereren dat ICT zijn effect niet direct uitoefent op prestaties, maar juist indirect via schaalvergroting (Barney, 1991; Nason & Wiklund, 2018). Enkel ondernemingen die hun digitale investeringen kunnen omzetten in organisatorische groei, lijken structurele voordelen te realiseren.

Ten vierde is het ICT-effect **sectorafhankelijk**. Informatie-intensieve sectoren zoals diensten, financiën en logistiek tonen duidelijke productiviteitswinsten, terwijl klassieke productie- of arbeidsintensieve sectoren nauwelijks effect vertonen. Dit onderstreept dat generalisaties over ICT-impact misleidend kunnen zijn sectorale context is cruciaal (Gal et al., 2019).

Ten slotte zijn de resultaten **robust** gebleken voor alternatieve specificaties en steekproeven. Noch uitbijters, noch schaaltransformaties of modelvorm (lineair, logaritmisch, logistisch) wijzigden de conclusies substantieel. Dit versterkt het vertrouwen in de consistentie van de bevindingen.

Samenvattend tonen de resultaten aan dat ICT geen universeel productiviteitsinstrument is: het leidt niet automatisch tot betere prestaties bij alle bedrijven. Integendeel, zonder schaal, organisatorische aanpassingen en strategische complementariteiten blijven de rendementen uit. Onder de juiste omstandigheden grote ondernemingen, multinationaliteit, of een digitaliseringsgevoelige sector kan ICT echter wel degelijk fungeren als aanjager van productiviteit. Hoewel er geen algemeen positief verband werd vastgesteld tussen ICT en productiviteit, toont deze studie aan dat ICT-investeringen onder specifieke condities zoals multinationale structuur, schaalgrootte of digitaliseringsgevoelige sector wél leiden tot productiviteitswinsten. Het antwoord op de onderzoeksvraag is daarmee **niet universeel bevestigend**, maar contextafhankelijk: **ICT werkt niet automatisch, maar wel waar de randvoorwaarden vervuld zijn.**

Discussie

Dit onderzoek keek naar de relatie tussen ICT-investeringen en arbeidsproductiviteit bij 249.034 Belgische ondernemingen. De resultaten laten geen eenduidig verband zien. De analyse toont aan dat aanvullende investeringen in ICT niet resulteren in een aanzienlijke stijging van de toegevoegde waarde per werknemer. In de OLS-regressies bleek de coëfficiënt voor ICT-uitgaven rond de nul te zijn en had deze geen significante waarde ($B \approx 0$, $p = 0,82$). Anders gezegd: extra investeringen in ICT resulteren gemiddeld gezien niet in een duidelijke stijging van de arbeidsproductiviteit. Hypothese 1 (H1) wordt daarom afgewezen. Deze ontdekking sluit aan bij wat vaak wordt genoemd als de paradox van productiviteit: aanzienlijke investeringen in ICT leiden niet automatisch tot verbeterde prestaties (Brynjolfsson, 1993; Roach, 1987). Een mogelijke oorzaak hiervan is de wijze waarop ICT in dit onderzoek is geëvalueerd. De variabele *PlantMachEqui* omvat alle materiële kapitaaluitgaven, zoals gebouwen, machines en voertuigen. Slechts een deel daarvan is echt ICT-gerelateerd. Daardoor wordt het ICT-sigitaal waarschijnlijk verstoord door andere soorten investeringen. Bovendien is de verdeling van deze uitgaven sterk scheef: veel bedrijven investeren weinig tot niets, terwijl een klein aantal ondernemingen zeer grote bedragen besteedt. Dat maakt het lastig om een lineair verband vast te stellen en kan het niet-significante resultaat deels verklaren.

Opvallend is dat het effect van ICT-investeringen niet overal gelijk is. Zoals verondersteld in Hypothese 2 (H2), blijkt dat multinationale ondernemingen (MNE's) er meer baat bij hebben dan KMO's. De interactie tussen ICT-uitgaven en de MNE-indicator positief en statistisch significant is ($p < 0,01$). In Figuur 2 is dat visueel terug te zien: de regressielijn voor MNE's helt omhoog, wat wijst op een positieve relatie tussen ICT-uitgaven en arbeidsproductiviteit. Bij KMO's blijft de lijn daarentegen vrijwel vlak. Dit betekent dat extra investeringen in ICT bij grote bedrijven zorgen voor een hogere productiviteit, terwijl dit effect bij kleinere bedrijven bijna niet te zien is. De regressiecoëfficiënten tonen aan dat er een 'MNE-premie' van ongeveer €6.800 aan extra waarde per werknemer te zien is, vergeleken met grote bedrijven die geen multinationals zijn. Ondanks dat de stijging niet extreem groot is, wijst dit toch op een economisch relevant rendement van ICT bij grote bedrijven (Bloom, Sadun & Van Reenen, 2012; OECD, 2021).

Hypothese 3 (H3) stelde dat bedrijfsgrootte een tussenliggende rol speelt in de relatie tussen ICT-investeringen en arbeidsproductiviteit: ICT zou schaalvergroting stimuleren, wat op zijn beurt tot hogere productiviteit leidt. De resultaten wijzen erop dat dit mechanisme deels werkt. Hogere ICT-uitgaven gaan gemiddeld samen met personeelsgroei: een stijging van 10% in ICT-intensiteit hangt samen met ongeveer 1,2% meer werknemers. Grotere bedrijven blijken bovendien productiever: een toename van 1% in personeel leidt gemiddeld tot zo'n 0,3% extra toegevoegde waarde per werknemer. Dit patroon past bij de "best-versus-rest"-dynamiek, waarin schaal en professionalisering bijdragen aan hogere productiviteit (Andrews, Criscuolo & Gal, 2016). Er werd formeel geen statistisch significante mediatie gevonden, omdat het directe effect van ICT op productiviteit al afwezig was in het

basismodel (c-pad). Toch suggereren de resultaten dat ICT pas rendeert bij bedrijven die erin slagen deze investeringen te vertalen naar groei. In die zin lijkt bedrijfsgrootte een noodzakelijke voorwaarde om productiviteitswinsten uit ICT te halen.

Verder bleek uit de sectoranalyse dat de impact van ICT sterk afhangt van de context. In de informatiedichte dienstensectoren (zoals financiële dienstverlening, groothandel en logistiek) zijn er wél significante productiviteitswinsten uit extra ICT-investeringen (Gal et al., 2019; Polder et al., 2010). In de groothandel/logistiek bijvoorbeeld realiseren bedrijven ceteris paribus zo'n €23.000 hogere VA/werknemer ten opzichte van de industrienorm, vermoedelijk dankzij intensief IT-gebruik voor logistieke optimalisatie (Malone, Laubacher & Johns, 1987). In sectoren waar digitalisering al sterk is doorgevoerd, zoals hightechindustrie, valt het marginale voordeel van extra ICT beperkt uit (mogelijk door afnemende meeropbrengsten zoals Acemoglu et al. (2014) laten zien). Sectoren met weinig ICT-toepassing (bouw, horeca e.d.) lieten soms zelfs een klein negatief effect zien.

Samenvattend vormen deze bevindingen dat ICT geen universeel wondermiddel is: alleen bedrijven met voldoende schaal en in geschikte sectoren plukken er concrete productiviteitswinst uit (OECD, 2021; Gal et al., 2019). De onderliggende sectorale interacties zijn opgenomen in het regressiemodel, maar niet afzonderlijk weergegeven in de appendix wegens omvang en beperkte meerwaarde voor de hoofdconclusies.

Vergelijking met bestaande literatuur

De resultaten passen in het licht van bestaande theorieën en empirisch onderzoek. De nulbevinding voor het algemene ICT-effect herinnert aan de 'IT-productiviteitsparadox' beschreven door Brynjolfsson (1993) en Roach (1987) enorme ICT-uitgaven leidden in het verleden niet altijd tot direct meetbare productiviteitsstijgingen. Latere studies benadrukken dat zulke investeringen alleen renderen met de juiste complementen (Brynjolfsson & Hitt, 2000; Bloom, Sadun & Van Reenen, 2012). De bevindingen ondersteunen dit: veel KMO's zullen ICT pas ten volle benutten als er tegelijk wordt geïnvesteerd in organisatorische veranderingen, personeelstraining en procesinnovaties (Bresnahan, Brynjolfsson & Hitt, 2002; Ennen & Richter, 2010). Het feit dat multinationals wél profiteren, sluit aan bij het idee dat grotere bedrijven makkelijker in staat zijn die complementariteiten te organiseren (Nason & Wiklund, 2018; Barney, 1991). Dit echoot het klassieke resource-based perspectief: schaarse bronnen (zoals geavanceerde ICT) leveren alleen concurrentievoordeel als bedrijven ze effectief inzetten in een coherente strategie (Barney, 1991).

Het heterogene effect bij MNE's is vergelijkbaar met wat Bloom et al. (2012) vonden bij Amerikaanse multinationals; in hun studie "Americans do IT better" profiteerden grootschalige multinationals van IT terwijl kleinere bedrijven dit minder deden. Dat conceptuele idee is ook in de context zichtbaar: alleen de 'koplopers' in ons geval vooral MNE's trekken meetbare productiviteitswinst uit digitalisering.

Tegelijkertijd bevestigt de sectoriële variatie wat Gal et al. (2019) en Polder et al. (2023) hebben gemeld: digitalisering loont vooral in kennisintensieve en sterk competitieve sectoren, terwijl in traditionele maakindustrie weinig extra VA/werknemer uit ICT komt. Acemoglu et al. (2014) laten zien dat veel moderne productiebedrijven al zeer geautomatiseerd zijn; de bevinding dat bijkomende ICT daar beperkt oplevert, past daarbij.

Verder komt het patroon overeen met “best versus rest” (Andrews et al., 2016): de beste bedrijven (grotere, internationaal opererende) zitten vaker aan de productiviteitstop. Grotere bedrijven gemiddeld hoger presteren, wat consistent is met de literatuur over schaalvoordelen en toppresterders in een markt (Syverson, 2011). Een recente ontwikkeling in de literatuur is de zogenaamde productivity J-curve (Brynjolfsson, Rock & Syverson, 2021), waarbij IT-investeringen pas na een inleereffect echte vruchten afwerpen. In de cross-sectionele data is daarvoor weinig bewijs (waarschijnlijk vanwege het ontbreken van een lange termijn perspectief), maar het is goed denkbaar dat sommige bedrijven simpelweg nog in de adoptie- of leerfase zitten.

Kortom, de bevindingen sluiten aan bij eerdere studies die benadrukken dat de impact van technologie afhangt van randvoorwaarden. Waar klassieke macrodata weinig IT-efficiëntie lieten zien, wordt hier op microvlak hetzelfde uitgelegd: ICT alleen is geen garantie voor hogere productiviteit zonder de juiste organisatie, vaardigheden en schaal (Bresnahan, Brynjolfsson & Hitt, 2002; Brynjolfsson & Hitt, 2000). Tegelijkertijd bevestigt het heterogeniteitsbeeld de aansporing van de OECD (2021) dat kleinere bedrijven vaak achterblijven in de digitale transitie. “Small firms are lagging behind in the transition to digital” (OECD, 2021), wat in de Belgische context wordt gezien: grote ondernemingen halen eerder de vruchten van digitalisering dan de massa KMO's.

Methodologische reflecties

Bij de interpretatie van de resultaten moeten enkele methodologische beperkingen in acht worden genomen.

Variabele operationalisatie. De gebruikte ICT-variabele (PlantMachEqui) fungeert als een ruwe proxy. Omdat deze maat alle materiële kapitaalinvesteringen omvat, worden ook niet-ICT-uitgaven hierin opgenomen. Hierdoor kan het specifieke effect van informatietechnologie worden onderschat (Biagi, 2013). Idealiter zou onderscheid gemaakt worden tussen hardware, software en andere digitale activa. Bovendien is de meting eendimensionaal: aspecten zoals integratie van ICT in bedrijfsprocessen of bijbehorende training van personeel blijven buiten beschouwing. Dergelijke datalimieten zijn typerend voor kwantitatieve studies en kunnen een verklaring bieden voor de waargenomen zwakke of afwezige effecten.

Endogeniteit. De studie is gebaseerd op cross-sectionele data en houdt geen rekening met mogelijke simultane causaliteit. Het is aannemelijk dat beter presterende of groeiende bedrijven ook meer investeren in ICT (reverse causality). In de mediatieanalyse wordt dit expliciet vermeld: het is denkbaar dat verwachte groei de ICT-uitgaven stimuleert in plaats van andersom. Zonder het gebruik van instrumentele variabelen of paneldata kan dit niet worden uitgesloten. De gevonden correlatie tussen ICT en productiviteit bij multinationals kan dus deels verklaard worden doordat productieve ondernemingen simpelweg meer investeren. Toekomstige studies zouden baat hebben bij het gebruik van panelregressies met vaste effecten of instrumentele variabelen (bijv. op basis van de timing van subsidies) om deze relatie causaler te benaderen (Wooldridge, 2010).

Selectie en ontbrekende data. Een relevante beperking is dat alleen bedrijven met volledig ingevulde kernvariabelen in de analyse zijn opgenomen. Door het toepassen van listwise deletion ging ruim de helft van de initiële dataset verloren, wat vermoedelijk niet willekeurig is. Grotere en meer gestructureerde ondernemingen, zoals multinationals, rapporteren doorgaans vollediger dan kleine KMO's. Hierdoor ontstaat mogelijk een selectiebias: de steekproef is oververtegenwoordigd door financieel transparante bedrijven. Indien kleine bedrijven systematisch minder rapporteren, worden hun kenmerken in de resultaten onderbelicht. Deze missingness kan het gevolg zijn van onderrapportage in bepaalde sectoren of bedrijfsprofielen. Hoewel de verdelingen in de gereduceerde steekproef visueel vergelijkbaar lijken met die van de volledige dataset, kon een formele Little's MCAR-test niet worden uitgevoerd. De afwezigheid van volledig willekeurige missingness impliceert dat de resultaten vooral representatief zijn voor bedrijven die volledig rapporteren. Voorzichtigheid is daarom geboden bij generalisaties naar het bredere KMO-landschap. Toekomstig onderzoek kan baat hebben bij het toepassen van meervoudige imputatie (Rubin, 1987) of het gebruik van databronnen met uniforme rapportageverplichtingen.

Statistische aspecten. De verklaringskracht van de geschatte modellen is beperkt ($R^2 \approx 0,3\%$ in het basismodel). Dit is niet ongebruikelijk in bedrijfseconomisch microdata-onderzoek (Bartelsman & Doms, 2000; Syverson, 2011), gezien de grote heterogeniteit tussen ondernemingen. Het impliceert echter dat een aanzienlijk deel van de variantie in productiviteit wordt bepaald door moeilijk observeerbare factoren, zoals managementkwaliteit of innovatiegraad. Hierdoor blijven kleine economische effecten soms statistisch onzichtbaar. Niettemin zijn bepaalde effecten wel degelijk economisch relevant. De interactie tussen ICT en MNE-status vertaalt zich bijvoorbeeld in een meeropbrengst van duizenden euro's per werknemer, hetgeen van belang is voor beleidsvorming en strategisch management, ook als de bijbehorende p-waarde beperkt blijft. In deelgroepen met beperkte statistische power (zoals enkel bedrijven met zeer hoge ICT-uitgaven) kan praktische relevantie aanwezig zijn zonder strikte significantie. Robuustheidscontroles, waaronder log-transformaties en alternatieve modelopzetten, bevestigen echter de hoofdpatronen, wat de betrouwbaarheid van de bevindingen versterkt.

Samenvattend biedt deze studie robuuste inzichten op basis van een grote steekproef, uitgebreide controlevariabelen en diverse modelstrategieën. Niettemin gelden beperkingen met betrekking tot

meetprecisie, mogelijke endogeniteit en selectiebias. Deze factoren rechtvaardigen voorzichtigheid bij de interpretatie van causale verbanden en bij de generaliseerbaarheid van de bevindingen. Desondanks blijven de centrale conclusies overeind: ICT-investeringen hebben geen algemeen effect op productiviteit, maar leveren wel rendement op bij multinationals, mogelijk via schaalvergroting.

Implicaties voor theorie en praktijk

Theoretische implicaties. De bevindingen bevestigen dat het verband tussen ICT en bedrijfsprestaties sterk contextgebonden is. Dit ondersteunt zowel contingentiebenaderingen als het resource-based view: de meerwaarde van digitale technologie manifesteert zich pas in combinatie met andere bedrijfsmiddelen, organisatorische capaciteiten en schaal (Brynjolfsson & Hitt, 2000; Ennen & Richter, 2010). De beperkte algemene ICT-effecten illustreren dat informatietechnologie een generiek productiemiddel is dat niet automatisch leidt tot hogere productiviteit; het vereist coördinatie, complementariteiten en doordachte bedrijfsvoering.

Tegelijkertijd wijzen de resultaten op het belang van niet-lineaire mechanismen zoals schaalvergroting als tussenschakel. In eerdere theoretische kaders is reeds gesuggereerd dat technologische adoptie initieel groei stimuleert, waarna schaalvoordelen optreden (Baron & Kenny, 1986). In deze studie werd aangetoond dat ICT samenhangt met personele groei en dat grotere bedrijven gemiddeld productiever zijn, wat aansluit bij theorieën over groeigerelateerde productiviteit (Andrews et al., 2016). Deze inzichten verruimen het begrip over hoe digitale investeringen zich vertalen op organisatieniveau niet via directe causale lijnen, maar eerder via versterkende mechanismen over de tijd heen.

Praktische implicaties. Voor bedrijfsleiders en beleidsmakers ligt de belangrijkste les in de voorwaardelijkheid van ICT-rendement. Voor kleine en middelgrote ondernemingen (KMO's) geldt dat hogere ICT-uitgaven op zichzelf geen garantie vormen voor efficiëntiewinst. Investeren in digitalisering moeten gepaard gaan met organisatorische innovatie, voldoende kritieke massa en personeelstraining. Voor KMO's kunnen ondersteunende trajecten, samenwerkingsverbanden of subsidies gekoppeld aan implementatiebegeleiding waardevol zijn.

Multinationals, daarentegen, kunnen blijven investeren in geavanceerde informatietechnologie, maar dienen alert te zijn voor verzadigingseffecten. Voor beleidsmakers houdt dit in dat algemene ICT-subsidies waarschijnlijk niet veel effect hebben bij kleinere ondernemingen, tenzij ze vergezeld gaan van extra acties zoals trainingen voor digitale vaardigheden of advies dat gericht is op specifieke sectoren. Deze suggesties komen overeen met rapporten van organisaties zoals de OECD (2021) en ABN AMRO (2022a), die pleiten voor een meer uitgebreide en geïntegreerde strategie voor digitale acceptatie in het MKB.

In de realiteit hebben ondernemingen baat bij een gefaseerde methodiek: starten met basisoplossingen zoals elektronische facturen of een klantrelatiesysteem, het opdoen van goede ervaringen en regelmatig controleren. De uitkomsten van de regressie in dit onderzoek tonen aan dat bij internationale bedrijven zelfs een kleine extra investering in ICT resulteert in enkele honderden euro's extra waarde per medewerker. Grafische visualisaties, zoals de interactieplot in Figuur 2, illustreren duidelijk hoe ICT-uitgaven samenhangen met productiviteit: bij MNE's stijgt de productiviteit met hogere ICT-uitgaven, terwijl deze relatie bij KMO's vrijwel afwezig is. Dergelijke grafieken kunnen als communicatiemiddel worden ingezet om het belang van randvoorwaarden bij digitalisering over te brengen aan managementteams en stakeholders. Want uiteindelijk blijkt: **hoe** men digitaliseert is minstens zo belangrijk als **hoeveel** men investeert.

De bevindingen suggereren dat digitale technologieën pas productiviteit verhogen wanneer ze gepaard gaan met organisatorische veranderingen en voldoende schaal. Voor België betekent dit dat beleidsmakers digitale adoptie bij kmo's niet enkel moeten stimuleren via technologische subsidies, maar ook via begeleiding op het vlak van organisatieontwikkeling en strategische planning.

Daarnaast zouden sector-specifieke adviesdiensten of 'digitale coaches' kunnen helpen om complementaire investeringen (bv. in training, procesherziening of nieuwe verdienmodellen) te versnellen. Ook is er nood aan beter toegankelijke financieringsvormen voor kleinere bedrijven, zodat zij niet achterblijven in digitale transformatie en structureel minder productief blijven.

Ten slotte kan het beleid inzetten op het delen van best practices binnen sectoren, bijvoorbeeld via lokale netwerken of platforms die succesvolle digitale transformatietrajecten bij kmo's in kaart brengen en zichtbaar maken.

Suggesties voor toekomstig onderzoek

Gezien de hierboven beschreven bevindingen en beperkingen liggen er verschillende routes open voor toekomstig onderzoek:

- **Fijnmazigere ICT-meting.** Verder onderzoek zou kunnen inzetten op het differentiëren tussen typen ICT-investeringen, bijvoorbeeld tussen hardware en software, of tussen intern IT-beleid en uitbestede digitale diensten. Het opnemen van immateriële ICT-investeringen, zoals bedrijfssoftware, cloud computing en cybersecurity, zou de effectmeting verfijnen. Dit vereist meer gedetailleerde dataverzameling, zoals gerichte surveys of toegang tot investeringsrekeningen met specifieke codering, in plaats van de gebruikte aggregaatmaat PlantMachEqui (vgl. Biagi, 2013).

- **Paneldata en causale methodologie.** Een panelstructuur met herhaalde waarnemingen per onderneming kan helpen om endogeniteitsproblemen te mitigeren. Methoden zoals vaste-effectenmodellen of difference-in-differences (bijvoorbeeld rond de invoering van een nieuw ICT-subsidiekader) bieden potentieel om causale effecten te isoleren. Ook het inzetten van instrumentele variabelen zoals exogene variatie in breedbanddekking of randomisatie in beleidsimplementatie zou de robuustheid van de inferentie verhogen (zie Wooldridge, 2010).
- **Aanvullende verklarende variabelen.** Toekomstige studies kunnen variabelen opnemen die het organisatorisch absorptievermogen representeren, zoals scholingsniveau van het personeel, R&D-intensiteit of managementkwaliteit. Het integreren van dergelijke factoren sluit aan bij literatuur over complementariteiten (Bloom, Sadun & Van Reenen, 2012; Ennen & Richter, 2010). Methodologisch zou de aanpak van Levinsohn & Petrin (2003), die simultane inputkeuzes corrigeert bij de schatting van productiviteit, als inspiratie kunnen dienen om onobserveerbare verstoringen deels op te vangen.
- **Omgaan met ontbrekende data.** De toepassing van geavanceerde missing data-technieken, zoals meervoudige imputatie (Rubin, 1987) of data-augmentatie via externe databronnen, kan helpen om selectiebias te verminderen. Daarmee neemt de representativiteit van de steekproef toe, met name voor het brede KMO-segment waarin onderrapportage vaker voorkomt.
- **Sector- en schaalgerichte dieptestudies.** Kwalitatieve of semikwantitatieve case-analyses binnen specifieke sectoren (bv. bouw, logistiek, of zakelijke dienstverlening) kunnen verklaren waarom ICT in sommige contexten effectiever blijkt. Ook het bepalen van drempelwaarden voor rendabele digitalisering de zogeheten “kritische schaal” blijft een relevante onderzoeksvraag, zeker voor KMO-beleid en groeistrategieën.
- **Tijdsdynamiek en adoptielogica.** Langetermijnanalyses kunnen nagaan of ICT pas na verloop van tijd rendement oplevert, zoals gesuggereerd in het “productivity J-curve”-model (Brynjolfsson, Rock & Syverson, 2021). Cross-sectionele studies zijn hiervoor onvoldoende sensitief; longitudinale data zijn essentieel om adoptie-, leereffecten en organisatorische fricties zichtbaar te maken.
- **Breder scala aan interactie-effecten.** Tenslotte kunnen andere interacties dan met bedrijfsgrootte relevant blijken. Mogelijkheden zijn onder meer: ICT × R&D, ICT × internationalisering, of ICT × digitaliseringsniveau van de sector. Het modelleren van zulke meervoudige interacties kan helpen om complexere randvoorwaardelijke structuren zichtbaar te maken.

Door bovenstaande richtingen te combineren met bestaande inzichten uit de literatuur zoals de diffusietheorie van Rogers (2003) of organisatiegebaseerde complementariteitsmodellen (Bloom et al., 2012) kan toekomstig onderzoek de heterogene rendementen van digitalisering beter ontrafelen en bijdragen aan gericht ICT-beleid.

Conclusie

Deze studie werpt een genuanceerd licht op de relatie tussen digitalisering en arbeidsproductiviteit bij Belgische ondernemingen. De resultaten maken duidelijk dat ICT-investeringen op zichzelf geen garantie bieden voor hogere productiviteit. Dit relativeert het dominante discours waarin technologie vaak als vanzelfsprekende groeimotor wordt gepresenteerd. De bevindingen suggereren daarentegen dat digitalisering enkel rendeert onder specifieke voorwaarden.

Een duidelijk patroon is zichtbaar: met name multinationals en bedrijven binnen sectoren met hoge digitaliseringsgraad weten ICT-doelgericht in te zetten voor prestatieverbetering. Zo blijkt uit de regressieanalyse dat een verhoogde ICT-investering bij MNE's samengaat met een economisch relevante stijging in toegevoegde waarde per werknemer, terwijl bij KMO's geen vergelijkbaar effect werd vastgesteld. Deze MNE-premie, geschat op circa €6.800 per werknemer, benadrukt dat economische betekenis zich soms verschuilt achter statistisch bescheiden coëfficiënten.

De resultaten bevestigen daarmee het belang van organisatorische en structurele context als voorwaarde voor succesvolle digitalisering, in lijn met theorieën over complementariteiten en het resource-based view (Brynjolfsson & Hitt, 2000; Bloom et al., 2012). Niet het investeren in ICT an sich, maar het vermogen om technologie in te bedden in een coherent organisatiemodel bepaalt het rendement ervan. Sectorale verschillen onderstrepen dit verder: vooral in kennisintensieve en competitieve sectoren blijkt ICT effectief, terwijl in traditionele sectoren het effect beperkt blijft (Gal et al., 2019; Acemoglu et al., 2014).

De methodologische beperkingen waaronder ruwe indicatoren, mogelijke endogeniteit en selectiebias door missende gegevens vragen om interpretatieve voorzichtigheid. Desondanks blijven de kernconclusies overeind in verschillende robuustheidsanalyses. Het feit dat significante interactie-effecten worden gevonden in logistische, log-lineaire en uitgeschoonde modellen versterkt het vertrouwen in de betrouwbaarheid van de bevindingen.

De centrale onderzoeksvraag *Hoe verschillen de effecten van ICT-investeringen op arbeidsproductiviteit tussen KMO's en MNE's?* is hiermee beantwoord. Enkel bij grotere, internationaal actieve ondernemingen genereert ICT een meetbaar productiviteitsvoordeel. Dit wijst op een tweedeling tussen digitale koplopers en achterblijvers en onderstreept het belang van differentiatie in digitaal beleid.

In bredere zin suggereren deze bevindingen dat technologie slechts dan rendeert wanneer deze gepaard gaat met schaalvergroting, organisatorische capaciteiten en contextspecifieke implementatie. Beleidsmakers en bedrijfsleiders worden aldus aangemoedigd om digitalisering te koppelen aan versterking van interne processen, personeelsontwikkeling en structurele aanpassing. Alleen onder zulke condities kan de belofte van innovatie daadwerkelijk worden gerealiseerd.

Referentielijst

- ABN AMRO. (2020). *Economische vooruitzichten en sectorstudies*. <https://www.abnamro.com>
- ABN AMRO. (2022a). *Digitale transformatie in Nederlandse sectoren*. <https://www.abnamro.com>
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2020). Robots and jobs: Evidence from US labor markets. *Journal of Political Economy*, 128(6), 2188–2244.
- Acemoglu, D., Autor, D., Dorn, D., Hanson, G., & Price, B. (2014). Return of the Solow Paradox? *American Economic Review*, 104(5), 1–6.
- Aiken, L. S., & West, S. G. (1991). *Multiple regression: Testing and interpreting interactions*. Sage.
- Allison, P. D. (2002). *Missing data*. Sage.
- Andrews, D., Criscuolo, C., & Gal, P. N. (2016). The best versus the rest: The global productivity slowdown, divergence across firms and the role of public policy. *OECD Productivity Working Papers*, 5. <https://doi.org/10.1787/63629cc9-en>
- Añón Higón, D., & Bonvin, D. (2024). Digitalization and trade participation of SMEs. *Small Business Economics*, 62(3), 857–877. <https://doi.org/10.1007/s11187-023-00799-7>
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120.
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173–1182.
- Bartelsman, E., & Doms, M. (2000). Understanding productivity: Lessons from longitudinal microdata. *Journal of Economic Literature*, 38(3), 569–594.
- Biagi, F. (2013). *ICT and productivity: A review of the literature* (EUR 26216 EN). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2788/32940>
- Bloom, N., Garicano, L., Sadun, R., & Van Reenen, J. (2012). *The distinct effects of information technology and communication technology on firm organization*. NBER Working Paper No. 17722. <https://doi.org/10.3386/w17722>
- Bloom, N., Sadun, R., & Van Reenen, J. (2012). Americans do IT better: US multinationals and the productivity miracle. *American Economic Review*, 102(1), 167–201. <https://doi.org/10.1257/aer.102.1.167>
- Bresnahan, T. F., & Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies: “Engines of growth”? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83–108.
- Bresnahan, T. F., Brynjolfsson, E., & Hitt, L. M. (2002). Information technology, workplace organization, and the demand for skilled labor: Firm-level evidence. *Quarterly Journal of Economics*, 117(1), 339–376.
- Brynjolfsson, E. (1993). The productivity paradox of information technology. *Communications of the ACM*, 36(12), 66–77.
- Brynjolfsson, E., & Hitt, L. M. (2000). Beyond computation: Information technology, organizational transformation and business performance. *Journal of Economic Perspectives*, 14(4), 23–48.
- Brynjolfsson, E., Hitt, L., & Yang, S. (2002). Intangible assets: Computers and organizational capital. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2002(1), 137–198.

- 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., Jin, W., & McElheran, K. (2021). The power of prediction: Predictive analytics, workplace complements, and business performance. *Business Economics*, 56(4), 217–239. <https://doi.org/10.1057/s11369-021-00224-5>
- Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2021). The productivity J-curve: How intangibles complement general purpose technologies. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 13(1), 333–372.
- Calvino, F., & Virgillito, M. E. (2019). The innovation-employment nexus: A critical survey of theory and empirics. *Journal of Economic Surveys*, 33(3), 804–837.
- Cette, G., Fernald, J. G., & Mojon, B. (2016). The pre-Great Recession slowdown in productivity. *European Economic Review*, 88, 3–20.
- Dearing, J. W., & Cox, J. G. (2018). Diffusion of innovations theory, principles, and practice. *Health Affairs*, 37(5), 183–190.
- Doraszelski, U., & Jaumandreu, J. (2013). R&D and productivity: Estimating endogenous productivity. *Review of Economic Studies*, 80(4), 1338–1383.
- Ennen, E., & Richter, A. (2010). The whole is more than the sum of its parts—or is it? A review of the empirical literature on complementarities in organizations. *Journal of Management*, 36(1), 207–233.
- European Commission. (2011). *Digital Agenda Scoreboard 2011*. <https://ec.europa.eu>
- European Commission. (2022). *Digital Economy and Society Index (DESI)*. <https://ec.europa.eu>
- Eurostat. (2024). *ICT usage and e-commerce in enterprises*. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). Sage.
- Gal, P., Nicoletti, G., Renault, T., Sorbe, S., & Timiliotis, C. (2019). *Digitalisation and productivity: In search of the holy grail. Firm-level empirical evidence from EU countries* (OECD Economics Department Working Papers No. 1533). OECD. <https://doi.org/10.1787/5080f4b6-en>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics* (5e ed.). McGraw-Hill.
- Jorgenson, D. W., Ho, M. S., & Stiroh, K. J. (2008). A retrospective look at the US productivity growth resurgence. *Journal of Economic Perspectives*, 22(1), 3–24.
- Kunc, M. H., & Morecroft, J. D. (2010). Managerial decision making and firm performance under a resource-based paradigm. *Strategic Management Journal*, 31(11), 1164–1182.
- Levinsohn, J., & Petrin, A. (2003). Estimating production functions using inputs to control for unobservables. *Review of Economic Studies*, 70(2), 317–341.
- Malone, T. W., Laubacher, R. J., & Johns, T. (1987). Electronic markets and electronic hierarchies. *Communications of the ACM*, 30(6), 484–497.
- Milgrom, P., & Roberts, J. (1990). The economics of modern manufacturing: Technology, strategy, and organization. *American Economic Review*, 80(3), 511–528.
- Nason, R. S., & Wiklund, J. (2018). An assessment of resource-based theorizing on firm growth and suggestions for the future. *Journal of Management*, 44(1), 32–60.
- OECD. (2019). *OECD review of agricultural policies*. <https://www.oecd.org>
- OECD. (2021). *The digital transformation of SMEs*. <https://www.oecd.org>

- Otley, D. (2016). The contingency theory of management accounting and control: 1980–2014. *Management Accounting Research*, 31, 45–62.
- Polder, M., Limpens, D., Vancauteren, M., & Visser, C. (2023). *Digitalisering bij bedrijven en de relatie met export, productiviteit en werkgelegenheid*. Centraal Bureau voor de Statistiek. <https://longreads.cbs.nl/im2023-3/digitalisering-bij-bedrijven-en-de-relatie-met-export-productiviteit-en-werkgelegenheid/>
- Polder, M., Van Leeuwen, G., Mohnen, P., & Raymond, W. (2010). Productivity effects of innovation modes. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2010/03.
- Polák, P. (2017). The productivity paradox: A meta-analysis. *Information Economics and Policy*, 38, 38–54.
- Rabobank. (2023). *ICT als aanjager van productiviteit: Een kritische blik*. <https://www.rabobank.nl>
- Roach, S. S. (1987). *America's technology dilemma: A profile of the information economy*. Morgan Stanley Special Economic Study.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Rubin, D. B. (1987). *Multiple imputation for nonresponse in surveys*. Wiley.
- Schafer, J. L., & Graham, J. W. (2002). Missing data: Our view of the state of the art. *Psychological Methods*, 7(2), 147–177.
- Schoonhoven, C. B. (1981). Problems with contingency theory: Testing assumptions hidden within the language of contingency theory. *Administrative Science Quarterly*, 26(3), 349–377.
- Syverson, C. (2011). What determines productivity? *Journal of Economic Literature*, 49(2), 326–365.
- Tambe, P., Hitt, L. M., & Brynjolfsson, E. (2012). The extroverted firm: How external information practices affect innovation and productivity. *Management Science*, 58(5), 843–859.
- Van Beveren, I. (2012). Total factor productivity estimation: A practical review. *Review of Business and Economics*, 57(3), 255–272.
- Van Leeuwen, G., & Van der Wiel, H. (2003). Do ICT spillovers matter? Evidence from Dutch firm-level data. *Research Policy*, 32(3), 409–431.
- White, H. (1980). A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica*, 48(4), 817–838. <https://doi.org/10.2307/1912934>
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data* (2nd ed.). MIT Press.
- Zhang, X., Yu, P., Yan, J., & Spil, T. (2015). Using diffusion of innovation theory to understand the factors impacting patient acceptance and use of consumer e-health innovations: A case study in a primary care clinic. *BMC Health Services Research*, 15, 71.
- Zhao, X., Lynch, J. G., & Chen, Q. (2010). Reconsidering Baron and Kenny: Myths and truths about mediation analysis. *Journal of Consumer Research*, 37(2), 197–206.

Bijlage

In deze appendix worden de voornaamste SPSS-outputtabellen en diagnostische figuren opgenomen ter onderbouwing van de kwantitatieve analyse uit de hoofdtekst. Omwille van beknoptheid en leesbaarheid zijn enkel de definitieve modellen en kernelementen van de statistische toetsing opgenomen. Dit betreft met name de lineaire regressiemodellen in het kader van Hypothesen H1, H2 en H3, inclusief de collineariteitsdiagnostiek, mediatieanalyse volgens Baron en Kenny (1986) en een selectie van grafische diagnostiek met betrekking tot de OLS-assumpties (o.a. normaliteit en homoscedasticiteit).

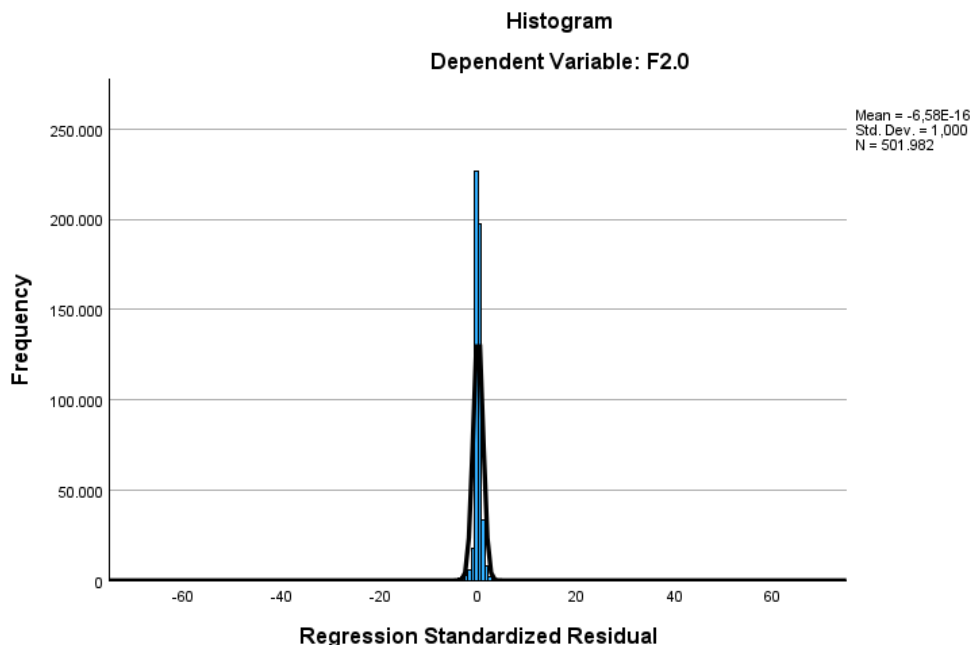
Modellen die uitsluitend dienden als robuustheidscontrole zoals de logistische regressies met binaire uitkomstmaten worden in de tekst besproken, maar hun volledige output is omwille van redundantie en ruimteoverwegingen niet in deze bijlage opgenomen. De resultaten van die modellen bevestigen de hoofdbevindingen en wijken inhoudelijk niet substantieel af, wat gerapporteerd wordt in het resultatenhoofdstuk.

Alle tabellen en figuren werden gegenereerd in SPSS (versie 29), tenzij anders vermeld. De gehanteerde procedures zijn volledig reproduceerbaar op basis van de vermelde methodologische werkwijze in hoofdstuk 6.

Appendix: Statistische output en modeldiagnostiek

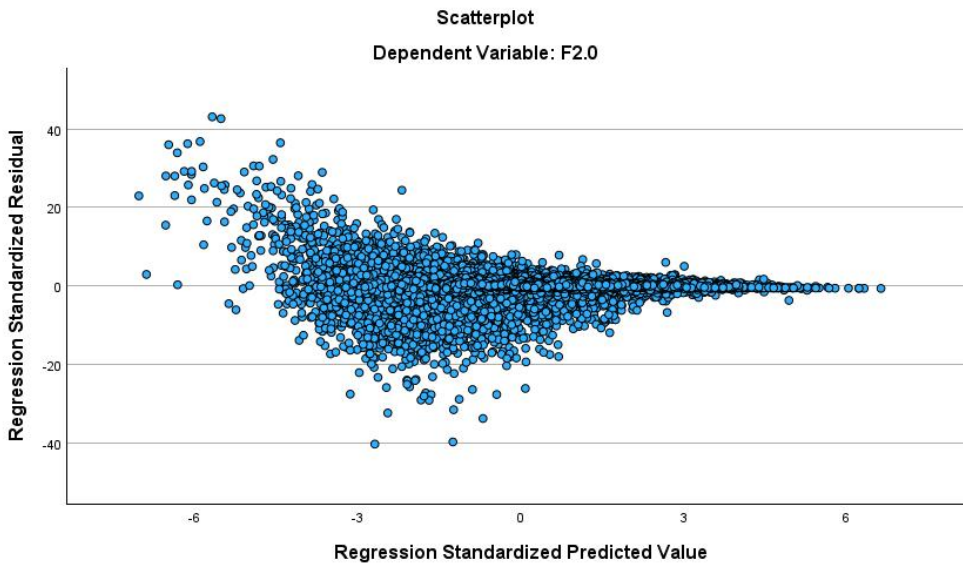
Figuur A1. Histogram van de gestandaardiseerde residuen voor de afhankelijke variabele log_labourprod

Toont de frequentieverdeling van de gestandaardiseerde regressieresiduen ter controle op normaliteit.



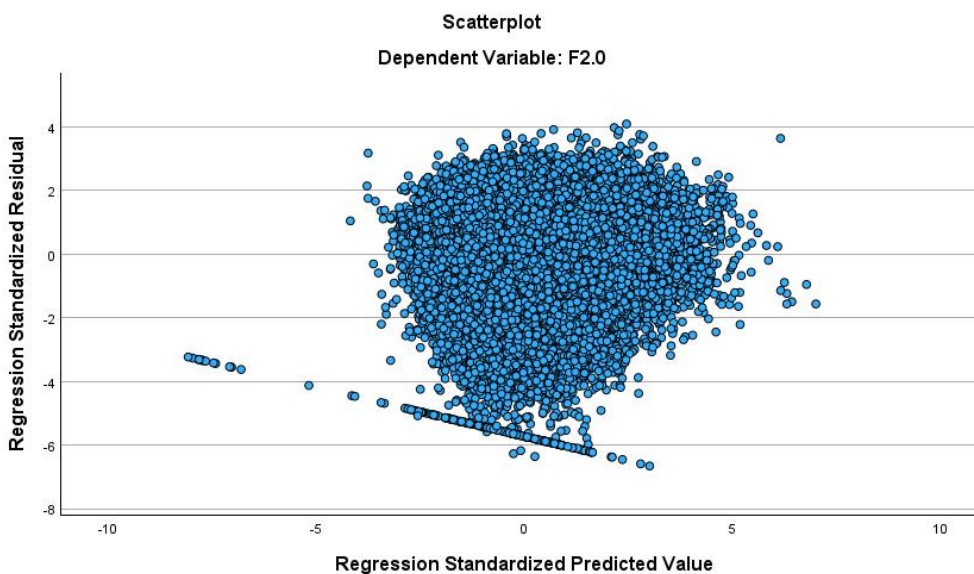
Figuur A2. Spreidingsdiagram van gestandaardiseerde residuen tegen gestandaardiseerde voorspelde waarden

Toont een waaivormig patroon dat wijst op mogelijke heteroscedasticiteit; de spreiding van de residuen neemt toe bij lagere voorspelde waarden.

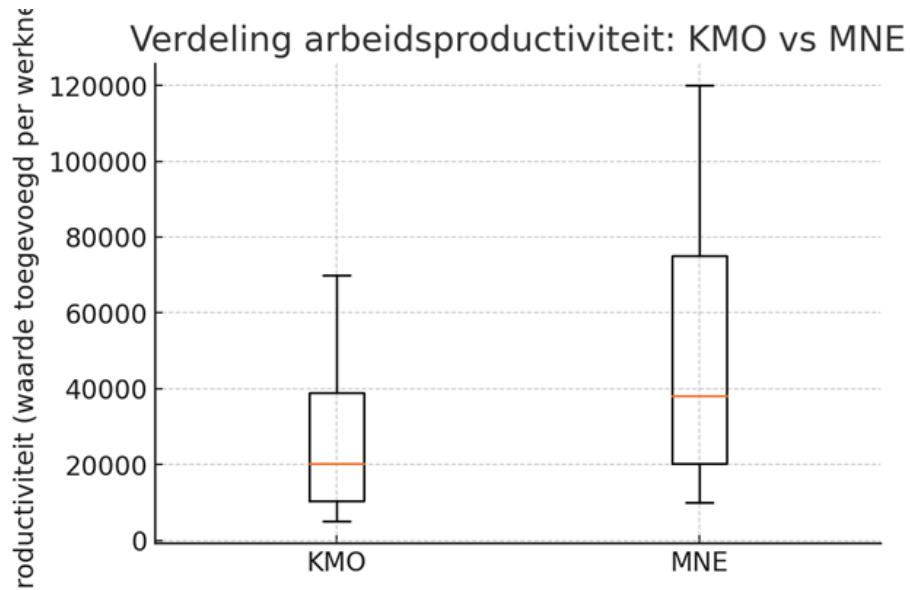


Figuur A3. Spreidingsdiagram van gestandaardiseerde residuen tegen gestandaardiseerde voorspelde waarden

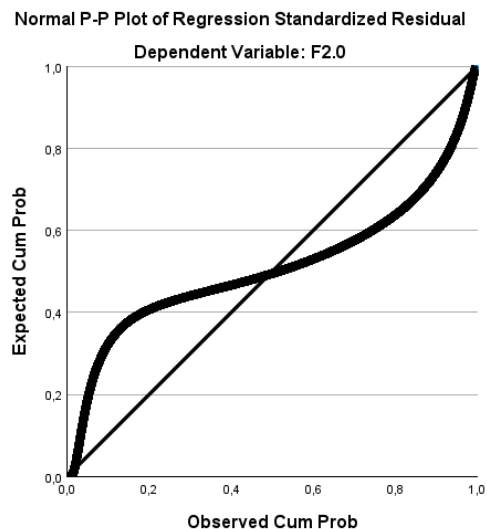
Toont een opvallend patroon met een dichte centrale clustering en een afwijkende lineaire groep residuen linksonder, wat mogelijk wijst op een coderingsfout, een subgroep in de data of een modelmisspecificatie.



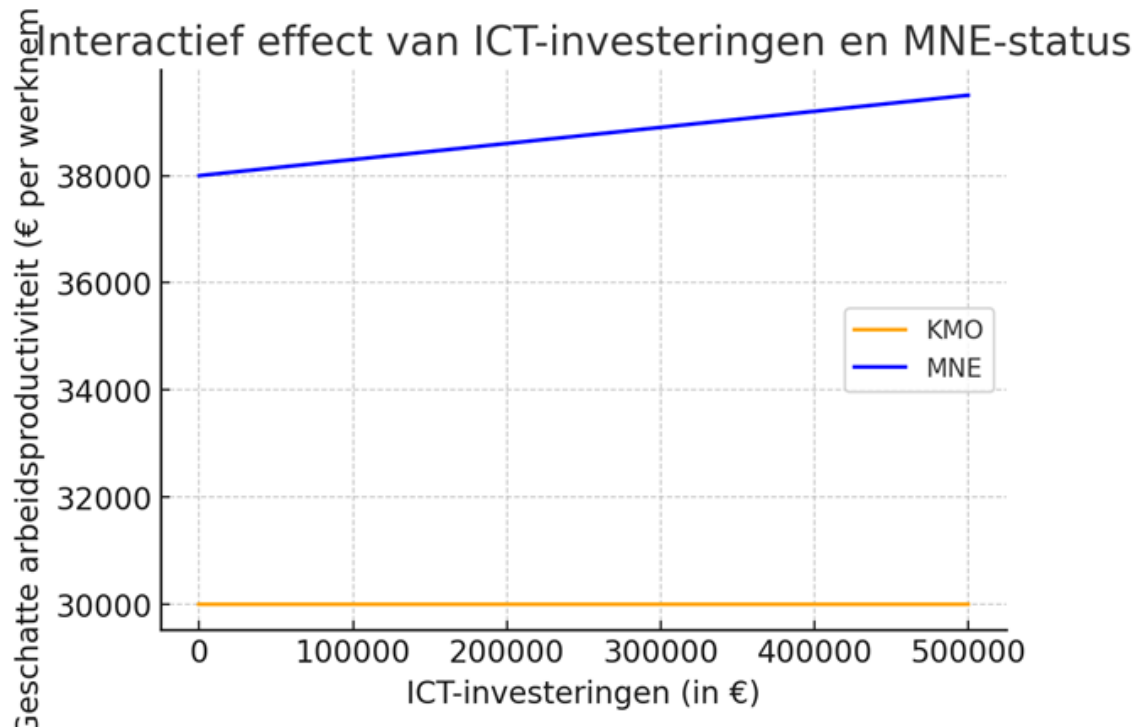
Figuur A4. Boxplot van arbeidsproductiviteit per werknemer: vergelijking tussen KMO's en MNE's
Toont de spreiding van de toegevoegde waarde per werknemer voor kleine en middelgrote ondernemingen (KMO) versus multinationale ondernemingen (MNE). MNE's vertonen een hogere mediaan en grotere spreiding in arbeidsproductiviteit.



Figuur A5. P-P plot van gestandaardiseerde residuen (afhankelijke variabele: log_labprod)
Toont de cumulatieve verdeling van de gestandaardiseerde residuen in vergelijking met een normale verdeling. De duidelijke afwijking van de diagonaal wijst op een aanzienlijke schending van de aanname van normaal verdeelde residuen.



Figuur A6. Interactief effect van ICT-investeringen en MNE-status op geschatte arbeidsproductiviteit
Toont de geschatte arbeidsproductiviteit per werknemer als functie van ICT-investeringen, uitgesplitst naar MNE's en KMO's. Bij MNE's neemt de productiviteit toe naarmate ICT-investeringen stijgen; bij KMO's blijft deze nagenoeg constant.



Tabel A1. Beschrijvende statistieken van arbeidsproductiviteit, log_labprod en investeringen in machines en ICT

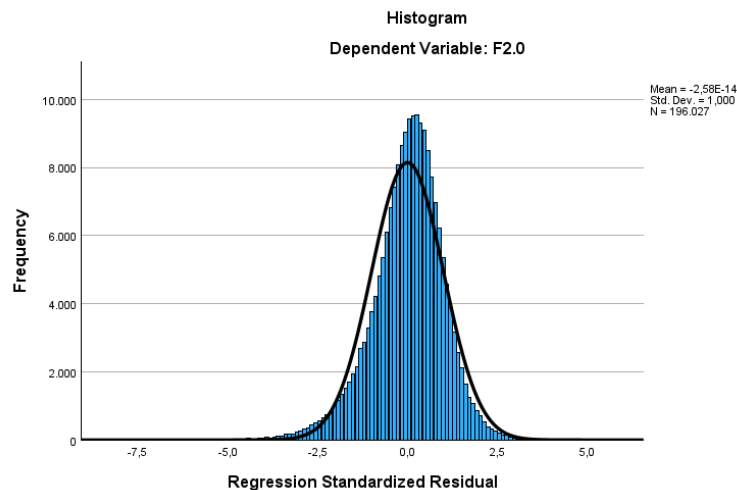
Toont centrale tendenties, spreiding en verdeelingskenmerken voor de ruwe en gelogaritmiseerde arbeidsproductiviteit per werknemer, alsook voor investeringen in productiemiddelen (PlantMachEqui).

Descriptives

			Statistic	Std. Error
F2.0	Mean		4,1203	,00170
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	4,1169	
		Upper Bound	4,1236	
	5% Trimmed Mean		4,1420	
	Median		4,1799	
	Variance		,567	
	Std. Deviation		,75270	
	Minimum		-,45	
	Maximum		8,11	
	Range		8,56	
	Interquartile Range		,89	
	Skewness		-,594	,006
	Kurtosis		1,745	,011
PlantMachEqui	Mean		166042,40205	5443,8771754
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	155372,53634	
		Upper Bound	176712,26776	
	5% Trimmed Mean		37785,550514	
	Median		11174,000000	
	Variance		5,809E+12	
	Std. Deviation		2410187,0904	
	Minimum		,000000000000	
	Maximum		287197152,00	
	Range		287197152,00	
	Interquartile Range		47405,664063	
	Skewness		55,947	,006
	Kurtosis		4502,128	,011
labour_productivity	Mean		53230,1347	915,86013
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	51435,0713	
		Upper Bound	55025,1981	
	5% Trimmed Mean		27238,0657	
	Median		15132,8571	
	Variance		1,644E+11	
	Std. Deviation		405482,01002	
	Minimum		-,65	
	Maximum		1,30E+8	
	Range		130040533,98	
	Interquartile Range		34462,71	
	Skewness		185,995	,006
	Kurtosis		55070,773	,011
F2.0	Mean		93361,6209	5148,82991
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	83270,0406	
		Upper Bound	103453,2012	
	5% Trimmed Mean		2686,1525	
	Median		,0000	
	Variance		5,196E+12	
	Std. Deviation		2279559,7656	

Figuur A7. Histogram van de gestandaardiseerde regressieresiduen (afhankelijke variabele: log_laborprod

Toont de verdeling van de gestandaardiseerde residuen. De verdeling benadert visueel een normale curve, wat wijst op een redelijke normaliteit van de residuen voor dit model.



Tabel A2. Regressieresultaten voor het model met log_laborprod als afhankelijke variabele

Toont de geschatte effecten van verschillende verklarende variabelen (waaronder MNE-status, logict, bedrijfsomvang en ICT-uitgaven) op de gelogaritmiseerde arbeidsproductiviteit. Inclusief gestandaardiseerde en ongestandaardiseerde coëfficiënten, significantieniveau en multicollineariteitsmaten (VIF en Tolerance). e multicollineariteit vastgesteld. VIF < 5 voor alle predictoren, met uitzondering van ictmne (VIF = 5,02).

Coefficients ^a								
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics		
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF	
1	(Constant)	2,408	,017	142,239	<,001			
	MNE	-,052	,008	-,030	-6,395	<,001	,211	4,748
	F2.0	-,035	,009	-,012	-3,828	<,001	,471	2,125
	F2.0	-,034	,009	-,012	-3,767	<,001	,462	2,162
	F2.0	-,029	,009	-,010	-3,291	<,001	,458	2,182
	logict	-,062	,001	-,140	-51,533	<,001	,635	1,576
	F2.0	-,005	,009	-,002	-,554	,580	,452	2,214
	F2.0	,012	,009	,004	1,313	,189	,445	2,248
	F2.0	-,050	,009	-,018	-5,593	<,001	,460	2,176
	F2.0	,133	,014	,023	9,278	<,001	,766	1,305
	F2.0	,139	,009	,051	15,763	<,001	,445	2,245
	F2.0	,195	,009	,070	21,786	<,001	,454	2,201
	F2.0	,201	,009	,074	22,850	<,001	,438	2,282
	F2.0	-,037	,009	-,013	-4,044	<,001	,480	2,082
	F2.0	-,024	,009	-,008	-2,575	,010	,486	2,056
	F2.0	-,006	,009	-,002	-,669	,503	,487	2,055
	logsize	,314	,003	,272	116,983	<,001	,863	1,158
	ictmne	,015	,002	,034	7,018	<,001	,199	5,024

a. Dependent Variable: loglabprod

Tabel A3. Beschrijvende statistieken van kernvariabelen in het regressiemodel

Geeft het aantal waarnemingen, centrale tendenties, spreiding en verdelingskenmerken voor *logict* (ICT-investeringen), *logsize* (bedrijfs grootte), *loglabprod* ($\ln(\text{arbeidsproductiviteit})$) en *ictmne* (interactie-effect).

Descriptive Statistics									
	N Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean Statistic	Std. Deviation Statistic	Skewness		Kurtosis	
						Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
<i>logict</i>	510363	,00	8,46	2,7396	1,97255	-,386	,003	-1,310	,007
<i>logsize</i>	509579	,00	10,65	5,6424	,78765	-,330	,003	2,731	,007
<i>loglabprod</i>	196034	-,45	8,11	4,1198	,75387	-,607	,006	1,809	,011
<i>ictmne</i>	510363	,00	8,46	,6645	1,53079	2,044	,003	2,674	,007
Valid N (listwise)	196027								

Tabel A4a. Mediatie model 1 – ICT → Productiviteit

Coefficients ^a								
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			Collinearity Statistics	
Model		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Tolerance	VIF
1	(Constant)	4,190	,004		1052,550	<,001		
	logict	-,019	,001	-,044	-19,424	<,001	1,000	1,000

a. Dependent Variable: *loglabprod*

Tabel A4b. Mediatie model 2 – ICT → Firm_size

Coefficients ^a								
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			Collinearity Statistics	
Model		B	Std. Error	Beta	t	Sig.	Tolerance	VIF
1	(Constant)	5,173	,002		3027,101	<,001		
	logict	,171	,001	,429	338,545	<,001	1,000	1,000

a. Dependent Variable: *logsize*

Tabel A4c. Mediatie model 3 – ICT + Firm_size → Productiviteit

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	2,363	,015		153,553	<,001		
	logict	-,059	,001	-,132	-57,754	<,001	,902	1,109
	logsize	,325	,003	,281	122,580	<,001	,902	1,109

a. Dependent Variable: *loglabprod*

